ШУМЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ЕПИСКОП КОНСТАНТИН ПРЕСЛАВСКИ“
KONSTANTIN PRESLAVSKY UNIVERSITY OF SHUMEN



Том 2, част 2

2026

МАТПЛЕХ

НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ

СБОРНИК НАУЧНИ ТРУДОВЕ

ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА
ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTENATIONAL PARTICIPATION

CONFERENCE PROCEEDINGS

FACULTY OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 2, Part 2

ШУМЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„ЕПИСКОП КОНСТАНТИН ПРЕСЛАВСКИ“

ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА
ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

KONSTANTIN PRESLAVSKY UNIVERSITY OF SHUMEN

FACULTY OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

МАТТЕХ 2026

СБОРНИК НАУЧНИ ТРУДОВЕ

МАТТЕН2026

CONFERENCE PROCEEDINGS

Том 2, част 2 **Volume 2, Part 2**

Информационни, технически и икономически проблеми на системите за сигурност

Геодезия, картография и кадастър

Общо инженерство, технически системи и логистика

Information, Technical and Economic Problems of Security Systems

Geodesy, Cartography and Cadastre

General Engineering, Technical Systems and Logistics

Университетско издателство
"Епископ Константин Преславски"

Настоящият сборник съдържа научни доклади, изнесени на проведената през месец октомври 2026 година в Шуменския университет научна конференция с международно участие MATTEX 2026 с резултатите от научните изследвания на преподаватели, докторанти, специалисти и студенти от Шуменския университет, други учебни заведения, фирми и организации.

Всички доклади, публикувани в сборника, са рецензирани.

This volume contains the reports presented on the Scientific Conference with international participation MATTEH 2026 held at Konstantin Preslavsky University of Shumen in October 2026. The reports contain the results of the research of lecturers, PhD students, specialists and undergraduate students at Konstantin Preslavsky University of Shumen, other Higher Education Institutions, companies and research organizations.

All papers published in this volume have been reviewed.

EDITORIAL BOARD:

Acad. Prof. Eng. Zhivko Stoyanov Zhekov, Dr. Habil
Acad. Prof. Eng. Genadiy Maklakov, Dr. Habil
Acad. Prof. Eng. Valery Bondur, Dr. Habil
Corr. Mem. Prof. Eng. Petar Getsov, Dr. Habil
Prof. Eng. Garo Mardirosian, Dr. Habil
Prof. Eng. Evgeni Petrov Manev, PhD
Prof. Eng. Yuriy Ivanov Dachev, PhD
Prof. Eng. Sabin Ivanov Ivanov, PhD
Prof. Lazar Stosic, PhD
Assoc. Prof. Eng. Janis Kaminskis, PhD
Assoc. Prof. Eng. Andrey Iliev Bogdanov, PhD
Assoc. Prof. Eng. Valentin Tonev Atanasov, PhD
Assoc. Prof. Eng. Donika Velichkova Dimanova, PhD
Assoc. Prof. Eng. Tihomir Spirdonov Trifonov, PhD
Assoc. Prof. Eng. Evgeni Grishev Stoykov, PhD
Assoc. Prof. Zdravko Yuriev Kuzmanov, PhD
Assoc. Prof. Yordanka Ivaylova Yankova-Yordanova, PhD
Acad. Prof. Eng. Tsvetoslav Stanislavov Tsankov, PhD

ISSN: 1314-3921

DOI: https://doi.org/10.46687/FTN26M2

© Университетско издателство "Епископ Константин Преславски"

Konstantin Preslavsky University Press

SAFETY-BY-DESIGN IN ENGINEERING LOGISTICS: A CONCEPTUAL MODEL FOR PRELIMINARY RISK ASSESSMENT IN WAREHOUSE AND PRODUCTION-LOGISTICS SYSTEMS*

YORDANKA I. YANKOVA-YORDANOVA, NIKOLAY H. YORDANOV

ABSTRACT: *The paper adapts Prevention through Design to engineering logistics by treating safety as a design criterion in warehouse and production-logistics systems. A conceptual five-stage SbD-L (Safety-by-Design for Logistics) model is proposed for project definition, preliminary risk screening, safe design, implementation control and operational feedback. The study uses systems and comparative analysis of standards, European regulatory sources and peer-reviewed PtD literature. Preliminary screening combines severity and likelihood, while exposure, avoidability and adequacy of controls are treated as contextual factors. SbD-L is a diagnostic framework, not a substitute for legally required risk assessment, and requires subsequent expert and empirical validation.*

KEYWORDS: *Safety-by-Design, Prevention through Design, engineering logistics, occupational safety, risk management, warehouse systems, design*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26YIY

SAFETY-BY-DESIGN В ИНЖЕНЕРНАТА ЛОГИСТИКА: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ ЗА ПРЕДВАРИТЕЛНА ОЦЕНКА НА РИСКА ПРИ СКЛАДОВИ И ПРОИЗВОДСТВЕНО-ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ

ЙОРДАНКА И. ЯНКОВА-ЙОРДАНОВА, НИКОЛАЙ Х. ЙОРДАНОВ

АБСТРАКТ: *Публикацията адаптира логиката Prevention through Design към инженерната логистика, като разглежда безопасността като проектен критерий при складови и производствено-логистични системи. Предложен е пететапен концептуален модел SbD-L (Safety-by-Design for Logistics), обхващащ проектно задание, предварителен скрининг на риска, безопасно проектиране, контрол при внедряване и обратна връзка от експлоатацията. Скринингът съчетава тежест и вероятност, а излагането, възможността за избягване и контролните мерки се използват като контекстуални фактори. Моделът не замества нормативно изискуемата оценка на риска и подлежи на последващо експертно и емпирично апробиране.*

1 Въведение

В инженерната логистика решенията за пространство, потоци и оборудване се вземат преди системата да започне реална експлоатация. Именно в този ранен етап се задават редица предпоставки за бъдещата безопасност: широчина и пресичане на маршрути, видимост, места за маневриране, височина и достъп до складирани товари, зони за зареждане, взаимодействие между пешеходци и индустриални превозни средства, начин на поддръжка и възможности за аварийна реакция. Ако тези въпроси останат извън проектното решение, последващите мерки често се свеждат до маркировка, инструкции, обучение или

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

лични предпазни средства, които не винаги могат да компенсират неблагоприятно проектирана среда. Логиката Prevention through Design (PtD) изхожда от идеята опасностите да се елиминират или ограничават възможно най-рано в жизнения цикъл на работното място, процеса, оборудването или технологията [1], [2]. Значителна част от научната литература по PtD е развита в строителството, където редица изследвания свързват проектните решения с последващи рискове за безопасността [3]–[5]. Тази доказателствена база не може автоматично да бъде пренасяна към складовите системи, но подкрепя по-общия принцип, че решенията „нагоре по веригата“ на проектирането могат да създават или ограничават опасности още преди началото на експлоатацията.

В настоящата публикация терминът Safety-by-Design се използва като работно обозначение за адаптиране на тази логика към инженерно-логистични системи. Целта не е да се въвежда нов нормативен термин, а да се структурира подход, при който безопасността участва в самото инженерно решение редом с капацитета, производителността, разходите и качеството на логистичния процес.

Целта на изследването е да се предложи концептуален модел SbD-L (Safety-by-Design for Logistics) за предварително интегриране на безопасността при проектиране и промяна на складови и производствено-логистични системи. Обект на изследването са складовите и производствено-логистичните системи, а предмет - връзката между проектните решения, предварителното разпознаване на опасностите и избора на мерки за намаляване на риска. Работната теза е, че ранното включване на критериите за безопасност в проектното задание и в избора между технически варианти създава по-добра основа за превенция от подход, при който рискът се разглежда едва след внедряването. Тезата има концептуален характер и подлежи на последващо емпирично апробиране.

2 Теоретична и нормативна основа на Safety-by-Design

Prevention through Design се определя от NIOSH като подход за предотвратяване или намаляване на професионални увреждания чрез включване на превенцията във всички решения по проектиране, които могат да влияят върху работещите. Логиката е близка до общата йерархия на контрола: когато е възможно, опасността следва да бъде премахната или намалена при източника, преди да се разчита основно на административни мерки и лична защита [2].

Научните изследвания по PtD показват, че проектната фаза е самостоятелно поле за управление на безопасността, но същевременно предупреждават срещу прекомерно силни твърдения за ефективност без обективно измерване. Hardison and Hallowell [4] подчертават недостига на обективни данни за реалното намаляване на риска през жизнения цикъл, а Jin et al. [5] показват, че значителна част от литературата е концентрирана върху инструменти, процедури и технологични приложения. Тази методологична предпазливост е важна и при пренасянето на принципа към инженерната логистика.

ISO 12100:2010 формулира общи принципи за безопасност на машините, оценяване и намаляване на риска и към 2026 г. остава действащо издание, макар да се разработва следваща версия. Стандартът е предназначен за машини и не следва да се представя като нормативна рамка за целия склад. Неговата логика обаче е полезна при инженерното мислене: първо се търсят по-безопасни проектни решения, след това защитни мерки, а информацията за употреба остава необходим допълващ слой [6]. ISO 45001:2018 [7], допълнен с Amendment 1:2024 [8], поставя акцент върху идентифицирането на опасности, управлението на промяната, участието на работещите и йерархията на контролните мерки. ISO 31000:2018 [9] предоставя общи принципи и процес за управление на риска и остава

текущото публикувано издание, въпреки че през 2026 г. се разработва следваща редакция. За човешкото измерение на проектирането е релевантен и ISO 6385:2016 [10], който разглежда ергономичните принципи при проектиране на работни системи и баланса между човешки, технически и организационни изисквания. При автоматизирани складови решения допълнителна техническа опора дава ISO 3691-4:2023 [11] за безпилотни индустриални превозни средства и техните системи. EU-OSHA също разглежда напредналата роботика и автоматизацията като източник както на възможности за намаляване на определени опасности, така и на нови предизвикателства за безопасността и човеко-машинното взаимодействие [12]. Регламент (ЕС) 2023/1230 [13] относно машините е част от актуалния европейски контекст. Към септември 2026 г. регламентът е в сила, но общото му прилагане започва от 20 януари 2027 г., с отделни разпоредби, приложими по-рано. Поради това в настоящата публикация той се разглежда като нормативен ориентир за проектни решения, свързани с машини и свързани продукти, а не като общо правило за пространственото проектиране на складове.

3 Методологичен подход

Изследването е концептуално и има теоретико-приложна насоченост. Използвани са системен анализ, сравнителен анализ и синтез на постановки от международни стандарти, европейски нормативни източници, институционални материали и рецензирани научни публикации по Prevention through Design. Подборът на литературата е целеви и служи за обосноваване на модела; публикацията не претендира да представлява систематичен литературен обзор. Разработването на SbD-L преминава през четири логически стъпки. Първо се идентифицират проектните решения, които могат да променят профила на риска в логистичната система. Второ се групират характерни рискови ситуации, свързани с пространство, техника, човешко изпълнение и организация. Трето се структурира жизненият цикъл на проектното решение в пет етапа. Четвърто се предлага предварителна скринингова процедура, която позволява сравнение на варианти без претенция за универсална количествена оценка. На настоящия етап моделът не е апробиран в конкретна организация и не са определяни статистически валидирани тегла или прагове за приемливост. Поради това изводите се отнасят до концептуалната съгласуваност и потенциалната практическа приложимост на рамката. Като следващ етап е предвидено експертно оценяване на съдържателната валидност, разбираемостта и потенциалната приложимост на модела.

4 Рискови области при проектиране на логистични системи

Рискът в складовите и производствено-логистичните системи рядко се определя от един изолиран фактор. По-често той възниква от съчетание между пространствено решение, технически характеристики, начин на работа и организационни ограничения. Тесен маршрут например може да бъде приемлив при малък поток, но да стане критичен при едновременно движение на пешеходци, мотокари и колички. Аналогично, автоматизацията може да намали ръчните операции, но да създаде нови интерфейсни зони между хора и автономна техника. За целите на предварителното проектиране могат да се разграничат няколко групи рискови области: пресичане на пешеходни и транспортни потоци; ограничена видимост и „слепи“ точки; неподходящи маневрени пространства; нестабилност или небезопасен достъп до складирани товари; ергономично натоварване; недостатъчни буферни пространства; неподходящо осветление и сигнализация; несигурен достъп за поддръжка; неясни аварийни маршрути; взаимодействие с автоматизирани или безпилотни транспортни средства; промени в режима на работа, които не са отразени в

първоначалния проект. Тези области не представляват изчерпателен нормативен списък. Те са диагностични категории, чрез които проектният екип може да провери дали дадено решение създава скрити зависимости. Във всеки конкретен случай са приложими съответните законови изисквания, стандарти, технически спецификации и фирмени процедури.

5 Концептуален модел SbD-L за инженерната логистика

Предложеният модел SbD-L (Safety-by-Design for Logistics) организира предварителното включване на безопасността в пет взаимосвързани етапа. Моделът не е нормативна процедура, а структурираща рамка за управленска и инженерна диагностика.

Таблица 1. Пететапен модел SbD-L

Етап	Основен фокус	Ключови въпроси	Изход/документ
1. Проектно задание	Потоци, капацитет, хора, техника, ограничения	Какво ще се движи, къде, с каква интензивност и при какви ограничения?	Изисквания за безопасност в проектното задание
2. Предварителен скрининг на риска	Опасности, пресичания, критични операции	Кои проектни решения могат да създадат съществен риск?	Регистър на опасности и приоритети
3. Безопасно проектиране	Разпределение, зони, видимост, достъп, ергономия	Може ли рискът да бъде елиминиран или намален чрез самия дизайн?	Сравнение и избор на проектен вариант
4. Контрол при внедряване	Изпитвания, приемане, инструкции, обучение	Съответства ли реалното изпълнение на проектните предпоставки?	Протоколи, инструкции, коригиращи действия
5. Мониторинг и обратна връзка	Инциденти, почти-инциденти, сигнали, промени	Какво показва реалната експлоатация и какво трябва да се преработи?	Наблюдение и цикъл на подобрение

Логиката на модела е итеративна, а не линейна. Данните от внедряването и експлоатацията могат да върнат екипа към проектното задание или към избора на технически вариант. По този начин безопасността се разглежда като характеристика на жизнения цикъл на логистичната система, а не като еднократна проверка преди пускане в експлоатация.

6 Предварителен скрининг и оценяване на риска

За ранната проектна фаза е необходим инструмент, който да е достатъчно прост за сравнение на варианти, но да не създава привидна математическа точност. Поради това се предлага двустепенен скрининг. На първия етап се съчетават тежестта на възможните последствия (S) и вероятността от възникване (P) чрез ориентировъчен показател $R = S \times P$. Този показател има приоритетизираща, а не нормативна функция.

ISO 12100 и ISO 31000 не налагат универсална формула или еднакви прагове за приемливост за всички системи. Поради това числовите стойности по-долу са авторска оперативна рамка за предварително сравнение и не следва да се използват като заместител на специализирана оценка на риска. Конкретната организация трябва да съобрази критериите с приложимото законодателство, вида на оборудването, отрасловите правила и собствената си методика.

Таблица 2. Скали за тежест и вероятност при предварителен скрининг

Оценка	Тежест S	Вероятност P
1	Незначителни последствия	Рядко / малко вероятно
2	Леки последствия	По-скоро малко вероятно
3	Сериозни последствия	Възможно
4	Много сериозни последствия	Вероятно
5	Критични последствия	Често / силно вероятно

Таблица 3. Ориентировъчна матрица S × P за приоритизиране

S \ P	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

Получената стойност не определя автоматично дали рискът е „приемлив“ или „неприемлив“. Тя служи за подреждане на въпросите, които изискват по-задълбочен анализ и по-ранно проектно решение. Дори ниска числова стойност може да изисква незабавна намеса, ако е налице нормативно недопустима опасност или възможност за тежко събитие при специфични условия.

Таблица 4. Контекстуални диагностични фактори

Фактор	Диагностичен въпрос	Управленско значение
Излагане	Колко често и колко дълго хората или техниката попадат в рисковата зона?	Може да повиши приоритета на иначе рядко събитие.
Избягване	Има ли реална възможност опасността да бъде разпозната и избегната навреме?	Показва дали проектът оставя достатъчно време и пространство за реакция.
Контролни мерки	Съществуват ли конструктивни, технически и организационни бариери и колко устойчиви са те?	Насочва към предпочитане на мерки при източника пред зависимост от поведение.
Човеко-машинно взаимодействие	Има ли пресичане на функции, маршрути или зони между хора и автоматизирана техника?	Изисква анализ на интерфейси, видимост, сигнали и режими на отказ.
Поддръжка и аварийни дейности	Безопасни ли са достъпът, изолирането и действията при повреда или авария?	Предотвратява фокус само върху нормалния производствен режим.

Важен принцип е скринингът да не се извършва само от проектанта. Участието на оператори, инженери, специалисти по безопасност и здраве при работа, логистици, поддръжка и ръководители позволява проектното решение да бъде проверено спрямо

реалната работа. Това е особено важно при реконструкции, където формалният чертеж често не отразява натрупаните оперативни практики.

7 Човешкият фактор в безопасното проектиране

Safety-by-Design не трябва да се свежда до геометрия на маршрути и технически защити. Работната система включва хора с различен опит, физически възможности, внимание и реакция, които изпълняват задачи в променливи условия. ISO 6385:2016 [10] именно затова разглежда човешките, социалните и техническите изисквания като взаимосвързани при проектирането на работни системи.

В инженерната логистика проектният екип трябва да постави практически въпроси: вижда ли операторът опасността достатъчно рано; има ли достатъчно пространство за безопасна маневра; създават ли се принудителни работни пози; разбираеми ли са сигналите; възможно ли е безопасно почистване и поддръжка; как се променя задачата при отказ на автоматизацията; изисква ли нормалното изпълнение постоянно компенсиране на недостатък в дизайна чрез повишено внимание.

При автоматизирани и роботизирани системи човешкият фактор не изчезва, а променя мястото си. Намаляването на ръчните операции може да бъде съпроводено от нови задачи по наблюдение, намеса при отклонения, рестартиране и поддръжка. Затова безопасното проектиране трябва да включва не само нормалния режим, но и преходите между автоматичен и ръчен режим, отказите, техническото обслужване и непредвиденото навлизане на хора в работните зони [11], [12].

8 Дискусия и ограничения

Предложеният модел SbD-L има за цел да преведе принципа „безопасност още при проектирането“ на езика на инженерната логистика. Неговото предимство е, че подрежда проектните решения, предварителния скрининг, внедряването и последващата обратна връзка в една рамка. В този смисъл моделът може да подпомогне комуникацията между проектанти, логистици, специалисти по безопасност, оператори и ръководители.

Същевременно моделът има съществени ограничения. Първо, той не е емпирично валидиран в реален складов или производствен процес. Второ, научната литература по Prevention through Design е силно развита в строителството, докато директните изследвания в инженерната логистика са по-ограничени. Следователно пренасянето на PtD към логистични системи в настоящата публикация е концептуална адаптация, която трябва да бъде проверена чрез емпирични данни.

Трето, скрининговата стойност $S \times P$ е опростен инструмент за приоритизиране. Тя не измерва риска с универсална точност и не отчита автоматично всички фактори, които са релевантни за конкретно оборудване или процес. Поради това при високорискови дейности, машини, автономни транспортни системи, опасни вещества или специфични нормативни режими трябва да се използват съответните специализирани методики и компетентни оценки.

Четвърто, приложимостта на модела зависи от качеството на входните данни и от участието на реалните ползватели. Ако проектният екип работи само с идеализирано описание на процеса, без да отчита поддръжката, пиковото натоварване, отклоненията и реалното човешко поведение, Safety-by-Design може да остане формална процедура.

Следващ етап на изследването може да включи експертна оценка на петте етапа и диагностичните критерии, пилотно приложение при конкретна реконструкция или инвестиционен проект и сравнение на идентифицираните рискове преди и след проектната

промяна. Едва след такава проверка би било методологично оправдано да се обсъждат валидирани прагове, тегла или интегрален индекс.

9 Заключение

Безопасността в инженерната логистика се влияе от решения, взети много преди началото на експлоатацията. Пространственото разпределение, маршрутите, достъпът, изборът на техника, режимите на автоматизация и организацията на поддръжката могат да намалят риска, но могат и да създадат предпоставки, които впоследствие трудно се компенсират само с инструкции и обучение.

Предложеният модел SbD-L структурира Safety-by-Design в пет етапа - проектно задание, предварителен скрининг на риска, безопасно проектиране, контрол при внедряване и мониторинг. Предварителната оценка чрез тежест и вероятност е допълнена с контекстуални фактори, така че числовото приоритизиране да не замества инженерната преценка.

Основният смисъл на рамката е не да създаде още една формална проверка, а да постави въпроса за безопасността навреме - докато проектът все още може да бъде променен с техническо решение, а не чрез последващо компенсиране на вече заложен недостатък. Потенциалната практическа стойност на модела следва да бъде проверена чрез експертно и пилотно апробиране.

Основни резултати и научно-приложен принос

1. Систематизирана е връзката между принципа Prevention through Design и проектните решения в инженерно-логистични системи, като е отчетена границата между доказателства от други отрасли и концептуалното им пренасяне към логистиката.
2. Предложен е пететапен концептуален модел SbD-L (Safety-by-Design for Logistics), който включва проектно задание, предварителен скрининг, безопасно проектиране, контрол при внедряване и мониторинг.
3. Разработена е предварителна процедура за приоритизиране на риска чрез тежест и вероятност, допълнена с контекстуални диагностични фактори без претенция за универсален интегрален индекс.
4. Систематизирани са проектни рискови области, характерни за складови и производствено-логистични системи, включително човеко-машинно взаимодействие и автоматизирани транспортни решения.
5. Очертан е последващ етап за експертно и пилотно апробиране на съдържателната валидност, разбираемостта и потенциалната приложимост на модела.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Schulte P. A., Rinehart R., Okun A., Geraci C. L., Heidel D. S. National Prevention through Design (PtD) Initiative. Journal of Safety Research, 39(2), 2008, pp. 115–121. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.02.021

[2] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Prevention through Design Toolkit for the Construction Industry. DHHS (NIOSH) Publication No. 2024-124, 2024. https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2024124

[3] Behm M. Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. Safety Science, 43(8), 2005, pp. 589–611. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.002

[4] Hardison D., Hallowell M. Construction hazard prevention through design: Review of perspectives, evidence, and future objective research agenda. Safety Science, 120, 2019, pp. 517–526. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.001

[5] Jin Z., Gambatese J., Karakhan A., Nnaji C. Analysis of prevention through design studies in construction: A subject review. Journal of Safety Research, 84, 2023, pp. 138–154. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.10.015

[6] International Organization for Standardization. ISO 12100:2010 Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction. ISO, 2010.

[7] International Organization for Standardization. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. ISO, 2018.

[8] International Organization for Standardization. ISO 45001:2018/Amd 1:2024 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use – Amendment 1: Climate action changes. ISO, 2024.

[9] International Organization for Standardization. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. ISO, 2018.

[10] International Organization for Standardization. ISO 6385:2016 Ergonomics principles in the design of work systems. ISO, 2016.

[11] International Organization for Standardization. ISO 3691-4:2023 Industrial trucks – Safety requirements and verification – Part 4: Driverless industrial trucks and their systems. ISO, 2023.

[12] European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Advanced robotics, artificial intelligence and the automation of tasks: Definitions, uses, policies and strategies and occupational safety and health. EU-OSHA, 2022. https://doi.org/10.2802/681779

[13] European Parliament and Council. Regulation (EU) 2023/1230 of 14 June 2023 on machinery and repealing Directive 2006/42/EC and Council Directive 73/361/EEC. Official Journal of the European Union, 2023.

CONTROL OVER THE USE OF SPECIAL INTELLIGENCE MEANS: PROBLEMS AND GUIDELINES FOR IMPROVEMENT*

SILVIYA K. KIRILOVA, DONIKA V. DIMANOVA

ABSTRACT: *The use of special intelligence means is associated with the need for effective counteraction against serious and organized crime, while at the same time involving significant interference with the fundamental rights and freedoms of citizens. This makes control over their authorization, application, and use a key element of the system for ensuring legality, necessity, and proportionality. The paper analyzes the main forms of control over the use of special intelligence means in the Republic of Bulgaria, with particular emphasis on judicial and institutional control. It examines issues related to the substantiation of judicial authorizations, the effectiveness of subsequent oversight, accountability, and the protection of citizens' rights. On this basis, guidelines are formulated for improving the existing control mechanisms.*

KEYWORDS: *special intelligence means, control, judicial control, national security, fundamental rights, proportionality*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26SKK

КОНТРОЛЪТ ВЪРХУ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА СПЕЦИАЛНИ РАЗУЗНАВАТЕЛНИ СРЕДСТВА: ПРОБЛЕМИ И НАСОКИ ЗА УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ

СИЛВИЯ К. КИРИЛОВА, ДОНИКА В. ДИМАНОВА

АБСТРАКТ: *Използването на специални разузнавателни средства е свързано с необходимостта от ефективно противодействие на тежката и организираната престъпност, но същевременно предполага значителна намеса в основни права и свободи на гражданите. Това определя контрола върху тяхното разрешаване, прилагане и използване като ключов елемент от системата за гарантиране на законност, необходимост и пропорционалност. В доклада се анализират основните форми на контрол върху използването на специални разузнавателни средства в Република България, като акцент се поставя върху съдебния и институционалния контрол. Разглеждат се проблеми, свързани с мотивираността на съдебните разрешения, ефективността на последващия контрол, отчетността и защитата на правата на гражданите. На тази основа се формулират насоки за усъвършенстване на действащите контролни механизми.*

1 Въведение

Специалните разузнавателни средства (СРС) заемат специфично място в системата за противодействие на тежката и организираната престъпност. Техният негласен характер позволява събиране на информация и доказателства, които трудно или практически невъзможно могат да бъдат получени чрез открити способи [1, 9, 12]. Същевременно тяхното използване е свързано с временно ограничаване на основни права, сред които неприкосновеността на личния живот, тайната на кореспонденцията и защитата на комуникациите [4, 6]. Поради това ефективното използване на СРС е неразривно свързано с наличието на надеждни механизми за контрол и отчетност.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

Действащата нормативна рамка в Република България изгражда многостепенна система за контрол, включваща предварителен съдебен контрол, вътрешноинституционален надзор, парламентарен контрол и специализиран контрол, осъществяван от Националното бюро за контрол на специалните разузнавателни средства [3, 5, 8, 13]. Основната функция на тази система е да гарантира, че използването на СРС се осъществява само при наличие на законово основание и при спазване на принципите на необходимост и пропорционалност.

Наличието на нормативно установени механизми обаче само по себе си не гарантира тяхната практическа ефективност. В процеса на разрешаване и използване на СРС възникват въпроси, свързани с качеството на съдебния контрол, мотивираността на разрешенията, възможностите за последваща проверка и защитата на лицата, чиито права са били ограничени. Анализът на тези проблеми е особено важен в условията на динамично развиваща се комуникационна среда и нарастващи изисквания към прозрачността и отчетността на институциите.

Целта на настоящия доклад е да бъдат анализирани основните механизми за контрол върху използването на СРС в Република България, да бъдат откроени проблемите при практическото им прилагане и да бъдат формулирани насоки за тяхното усъвършенстване.

За постигане на поставената цел се използват методите на нормативния анализ, сравнението, системния подход и критичния анализ на съдебната и институционалната практика.

2 Система за контрол върху използването на специални разузнавателни средства

Контролът върху използването на СРС представлява съвкупност от правни, институционални и организационни механизми, предназначени да предотвратят неправомерното или непропорционално ограничаване на основни права. Неговото значение произтича от самия характер на СРС - тайното им прилагане ограничава възможността на засегнатото лице непосредствено да защити своите права в момента на осъществяване на наблюдението [3, 12].

В българската система могат да бъдат разграничени няколко основни равнища на контрол: съдебен, институционален, парламентарен и специализиран независим контрол [5, 13].

2.1. Съдебен контрол

Предварителният съдебен контрол е основната правна гаранция при разрешаването на използването на СРС. Процедурата започва с мотивирано искане от компетентен орган, което следва да съдържа фактическите и правните основания за намесата. Съдебният орган извършва преценка дали са налице законовите предпоставки за използване на СРС и дали исканата мярка съответства на принципите на необходимост и пропорционалност [5, 7].

Особено значение има обстоятелството, че СРС се допускат като субсидиарен способ - когато необходимата информация не може да бъде получена по друг начин или събирането ѝ е свързано със значителни затруднения. Това превръща съдебната преценка не просто в проверка за формално наличие на предпоставки, а в механизъм за оценка дали ограничаването на основни права е действително необходимо в конкретния случай [3, 5].

При тази преценка особено важни са два принципа - необходимостта и пропорционалността. Необходимостта предполага използването на СРС да бъде оправдано

от конкретната оперативна или процесуална цел, докато пропорционалността изисква интензитетът и обхватът на намесата да не надхвърлят необходимото за нейното постигане [3, 4]. Тези принципи представляват основни ограничения срещу прекомерното използване на негласни оперативно-технически способи.

2.2. Институционален и независим контрол

Наред със съдебния контрол важна роля има Националното бюро за контрол на специалните разузнавателни средства. То осъществява наблюдение върху процедурите по разрешаване, прилагане и използване на СРС, както и върху съхраняването и унищожаването на получената информация [5, 8]. Сред функциите му са проверки на регистрите и процедурите, изискване на информация от компетентните органи, даване на указания и сезиране на прокуратурата или други компетентни органи при установяване на нарушения.

Съществена гаранция е възможността Бюрото да извършва проверки при сигнали за незаконосъобразно използване на СРС и при определени условия да уведомява граждани, спрямо които такива средства са били използвани неправомерно [3, 5]. Тази функция има особено значение, тъй като компенсира в известна степен ограниченията, произтичащи от тайния характер на производството.

2.3. Парламентарен контрол

Парламентарният контрол се осъществява чрез специализирана постоянна комисия на Народното събрание. Нейните функции включват наблюдение върху дейността на службите за сигурност, разглеждане на техните доклади, извършване на проверки и проследяване на процедурите по разрешаване и използване на СРС [2, 5]. Комисията има възможност да изисква тематични доклади, да организира изслушвания и да сезира компетентните органи при установяване на нарушения.

По този начин българският модел съчетава предварителен съдебен контрол с последващ институционален и парламентарен надзор. Тази многостепенност представлява важна предпоставка за ограничаване на произвола, но реалната ефективност на системата зависи от съдържателното, а не само формалното упражняване на отделните контролни функции [12, 13].

3 Проблеми при осъществяването на съдебния контрол

Съдебният контрол при разрешаването на специални разузнавателни средства има ключово значение, тъй като именно на този етап се извършва преценката дали намесата в основни права е допустима, необходима и пропорционална. Формалното наличие на съдебно разрешение обаче не е достатъчно, ако не е придружено от реална оценка на основанията, обхвата и целите на исканата мярка. В практиката могат да бъдат откроени няколко основни проблема, свързани с мотивираността на съдебните актове, оценката на необходимостта и пропорционалността и възможностите за последващ контрол [3, 14].

3.1. Мотивираност на съдебните разрешения

Един от най-съществените въпроси е степента, в която съдебните актове за разрешаване на СРС следва да бъдат индивидуално мотивирани. Спецификата на производството - неговият таен, едностранен и едноинстанционен характер - поставя особено високи изисквания към съдебната преценка, тъй като засегнатото лице не участва в процедурата и няма възможност да изложи възражения срещу искането [3, 6].

В решението по делото Ekimdzhiev and Others v. Bulgaria Европейският съд по правата на човека подчертава значението на мотивирането на разрешенията като гаранция срещу произволно или формално одобряване на исканията за наблюдение. Според Съда наличието на мотиви позволява да се установи дали съдията действително е извършил преценка на необходимостта и пропорционалността на намесата [14].

В същото време Решението на Съда на Европейския съюз по дело C-349/21 допуска използването на предварително съставен съдебен акт без подробно индивидуализирани мотиви, когато конкретните основания могат да бъдат ясно установени чрез съвместен прочит на съдебното разрешение и мотивираното искане [11].

Тази позиция поставя въпроса доколко бланковата форма на разрешението осигурява реален съдебен контрол. Националният конституционен стандарт също изисква съдебните актове да бъдат мотивирани, като Конституционният съд приема, че мотивите следва да позволяват да бъдат установени съображенията, въз основа на които съдът е формирал своето решение [10].

При разрешаване на СРС този въпрос има особена тежест, тъй като става дума за ограничаване на конституционно защитени права. Поради това мотивирането на съдебния акт следва да позволява проследяване на връзката между конкретните факти, представените материали и необходимостта от всеки поискан оперативен способ. Подобна практика би ограничила риска от механично одобряване на исканията и би засилила гаранционната функция на предварителния съдебен контрол.

3.2. Оценка на необходимостта и пропорционалността

Друг съществен проблем е свързан с практическото прилагане на принципите на необходимост и пропорционалност. Законодателната рамка допуска използването на СРС само когато необходимата информация не може да бъде събрана по друг начин или това е свързано с изключителни трудности [5, 7].

На практика обаче преценката дали са изчерпани по-малко инвазивните способи съдържа значителен оценъчен елемент. Ако съдът се ограничи единствено до проверка на формалната редовност на представеното искане, съществува риск принципът на субсидиарност да остане само декларативен. Именно затова заявителят следва да представи достатъчно конкретна информация за проведените до момента оперативни действия, постигнатите резултати и причините, поради които използването на СРС се явява необходимо [3, 5].

Пропорционалността изисква допълнителна оценка на обхвата и интензитета на намесата. Не е достатъчно да бъде установено наличие на законово основание; необходимо е конкретният способ и срокът на неговото прилагане да бъдат съразмерни на характера на престъпната дейност и преследваната цел [4, 12].

Особено значение има индивидуализацията на исканите оперативни способи. При комбинирано използване на няколко СРС е целесъобразно за всеки от тях да бъдат изложени отделни мотиви относно очакваната информация и необходимостта от неговото прилагане. Подобен подход създава по-добра проследимост между поставената оперативна цел и конкретното ограничаване на основни права. В практиката са установени примери, при които съдът свързва конкретен факт с определен документ или оперативен материал, което повишава аргументираността на разрешението.

3.3. Ограничения на последващия контрол

Предварителното съдебно разрешение представлява само един от елементите на системата за контрол. Съществено значение има и последващата проверка дали разрешените СРС са били използвани в съответствие с условията, сроковете и целите, посочени в съдебния акт.

Именно в тази област се откриват определени слабости. Последващият контрол е по-ограничен в сравнение с предварителното разрешаване, а тайният характер на производството затруднява възможността засегнатото лице да узнае за извършената спрямо него намеса и при необходимост да защити своите права [3, 14].

Проблемът е особено значим в случаите, когато използването на СРС не води до последващо наказателно производство или до използване на събраната информация като доказателство. В такива ситуации лицето може да остане неуведомено за ограничаването на неговите права, което практически ограничава възможността за последваща съдебна защита. В действащата система тази празнина се компенсира частично от контролните функции на Националното бюро за контрол на СРС, включително възможността при определени условия да уведомява лица, спрямо които СРС са били използвани неправомерно [5].

Ефективният последващ контрол следва да обхваща не само формалната законосъобразност, но и резултатността на използваните средства, спазването на разрешения срок, обработката и съхранението на получената информация, както и нейното своевременно унищожаване, когато липсва законово основание за запазването ѝ. Подобен подход би осигурил по-пълна връзка между предварителната съдебна преценка и реалното прилагане на разрешените мерки.

В обобщение, основният проблем на съдебния контрол върху използването на СРС не се състои в липсата на нормативно установени процедури, а в необходимостта те да бъдат прилагани съдържателно. Индивидуализираното мотивиране на разрешенията, задълбочената преценка на необходимостта и пропорционалността и ефективният последващ контрол представляват взаимно свързани гаранции, чрез които може да бъде ограничен рискът от формализиране на съдебния надзор.

4 Оценка на действащите контролни механизми

Действащата система за контрол върху използването на специални разузнавателни средства в Република България включва няколко взаимно допълващи се равнища - съдебен, институционален, парламентарен и специализиран независим контрол. Наличието на подобна многостепенна структура създава предпоставки за ограничаване на неправомерното използване на СРС и за защита на основните права на гражданите [5, 12, 13].

Сред положителните характеристики на системата могат да бъдат посочени нормативната регламентация на процедурите, наличието на независим специализиран контролен орган, унифицирането на регистрите и развитието на информационни механизми за проследяване на процедурите по искане, разрешаване, прилагане и прекратяване на СРС [5, 8]. Съществено значение има и обстоятелството, че ежегодното публикуване на обобщени данни позволява проследяване на основни тенденции в практиката и създава по-висока степен на институционална отчетност.

Наред с тези положителни характеристики остават и няколко проблемни области. Сред тях се открояват рискът от формализиране на съдебния контрол, ограничените възможности за последваща проверка, трудностите при уведомяването на засегнатите лица и рисковете при съхранението и унищожаването на придобитата чрез СРС информация [3, 14]. Тези характеристики са обобщени и показани в таблица 1.

Таблица 1. Основни силни страни и проблемни области на системата за контрол върху използването на СРС

Силни страни	Проблемни области
Наличие на предварителен съдебен контрол	Риск от формално разглеждане на исканията
Независим специализиран контрол чрез НБКСРС	Ограничени възможности за последващ контрол
Унифициране на регистрите и отчетността	Затруднена защита на неуведомени лица
Парламентарен и институционален надзор	Ограничени преки санкционни правомощия на контролния орган
Правила за съхранение и унищожаване на информацията	Риск при неправилно съхранение или несвоевременно унищожаване на данни

4.1. Статистически показатели за периода 2023–2025 г.

Публичните данни, обобщени в годишните доклади на Националното бюро за контрол на специалните разузнавателни средства, позволяват да се проследят някои показатели за практическата резултатност на системата. За 2025 г. са отчетени 930 искания за изготвяне на веществени доказателствени средства (ВДС), включително 20 искания за разпит на служител под прикритие. За сравнение, през 2024 г. исканията за изготвяне на ВДС са 891, а през 2023 г. - 921 [8].

Съотношението между броя на исканията за изготвяне на ВДС и броя на лицата, чиито основни права са били временно ограничени чрез прилагане на СРС, е 36,25% през 2025 г., при 35,30% през 2024 г. и 36,06% през 2023 г. Тези стойности показват относителна устойчивост на показателя за периода и не очертават съществено изменение в резултатността на използването на СРС [8].

Тук е важно да се отчете, че ефективността на СРС не може да бъде оценявана единствено чрез броя на изготвените веществени доказателствени средства. При дейности, свързани със защитата на националната сигурност, резултатът от използването на СРС може да се изразява и в придобиването на оперативно значима информация, която не достига до наказателния процес под формата на ВДС [8]. Поради това количествените показатели следва да се разглеждат като част от по-широка оценка, включваща законосъобразността, целесъобразността и практическата полезност на придобитата информация.

4.2. Ефективност на контрола

Оценката на контролните механизми не следва да се ограничава до наличието на формално регламентирани процедури. Съществено значение има въпросът дали отделните форми на контрол функционират координирано и дали позволяват своевременно установяване на нарушения.

Предварителният съдебен контрол изпълнява превантивна функция, докато дейността на НБКСРС и парламентарните органи има по-скоро последващ и надзорен характер.

Ефективността на системата зависи именно от връзката между тези етапи - от качеството на първоначалната съдебна преценка до контрола върху начина, по който разрешените способи са приложени, документирани и прекратени [13].

Особено внимание следва да се отдели на контрола върху събраната информация. СРС генерират чувствителни данни, които могат да засягат не само лицето, спрямо което е разрешено използването им, но и трети лица. Поради това защитата, ограничаването на достъпа и своевременното унищожаване на ненужната информация представляват съществен елемент от цялостната система за гарантиране на правата [5, 12, 13].

Общата оценка на действащите контролни механизми показва, че в България е изградена сравнително развита система за контрол върху използването на СРС, включваща нормативни, съдебни и институционални гаранции. Същевременно нейната ефективност зависи в значителна степен от начина, по който тези механизми се прилагат на практика.

Най-съществените проблеми не са свързани толкова с отсъствието на контролни механизми, колкото с риска от формализиране на отделни процедури, недостатъчната дълбочина на последващия контрол и необходимостта от по-добра координация между институциите. Това налага контролът върху СРС да се разглежда като непрекъснат процес - от мотивирането на искането и съдебното разрешение до прилагането, оценката на резултатите и унищожаването на информацията.

5 Насоки за усъвършенстване на контролните механизми

Анализът на действащата система показва, че усъвършенстването на контрола върху използването на специални разузнавателни средства следва да бъде насочено не толкова към създаване на нови контролни структури, колкото към повишаване на ефективността на съществуващите механизми. Основен акцент следва да бъде поставен върху качеството на съдебната преценка, развитието на последващия контрол, институционалната координация и отчетността [3, 13].

На първо място, необходимо е да се повиши стандартът при мотивиране на съдебните разрешения за използване на СРС. Мотивите следва да позволяват ясно проследяване на връзката между фактическите основания, конкретния оперативен способ, очаквания резултат и необходимостта от ограничаване на основни права. Подобен подход би ограничил риска от формализиране на съдебния контрол и би съответствал в по-висока степен на изискванията за ефективна защита срещу произвол [10, 14].

На второ място, следва да бъдат конкретизирани критериите за оценка на необходимостта и пропорционалността. Макар тези принципи да са утвърдени както в националното, така и в европейското право, тяхното практическо прилагане предполага значителен оценъчен елемент. По-ясни стандарти относно изчерпването на по-малко инвазивните способи, обхвата на исканата мярка и продължителността на прилагането ѝ биха допринесли за по-последователна съдебна практика [3, 4, 5].

На трето място, необходимо е засилване на последващия контрол. Предварителното разрешение следва да бъде допълнено от по-системна оценка на това дали СРС са приложени в съответствие с разрешения обхват, срок и цел, както и дали придобитата информация е била обработвана, съхранявана и унищожавана съобразно законовите изисквания [5, 12].

Съществено значение има и подобряването на координацията между органите, участващи в различните етапи на процедурата. По-добрият обмен на информация между

заявителя, съда, прилагащата структура и контролните институции би намалил риска от пропуски и би повишил проследимостта на целия процес [13].

Към възможните насоки следва да се отнесе и развитието на електронни системи за документиране и контрол. Въвеждането на единни информационни механизми за регистриране на исканията, разрешенията, сроковете, прилаганите способи и резултатите би могло да подобри както административната ефективност, така и възможностите за последваща проверка [8].

Отделно внимание следва да се обърне на защитата на лицата, спрямо които СРС са били използвани неправомерно. Развитието на механизмите за последващо уведомяване при отпаднала необходимост от секретност би повишило възможностите за ефективна защита и би засилило отчетността на системата [14].

В обобщение, усъвършенстването на контрола върху използването на СРС изисква комплексен подход, който съчетава по-висок стандарт на съдебно мотивиране, по-ясни критерии за необходимост и пропорционалност, засилен последващ контрол, по-добра институционална координация и по-висока степен на отчетност. Именно съчетаването на тези елементи може да осигури устойчив баланс между ефективността на правоохранителната дейност и защитата на основните права на гражданите.

6 Заключение

Контролът върху използването на специални разузнавателни средства е основна гаранция за законосъобразното ограничаване на основни права при противодействието на тежката и организираната престъпност. Българската система включва съдебен, институционален, парламентарен и специализиран независим контрол, което създава необходимата нормативна и организационна основа за ограничаване на неправомерното използване на СРС.

Наред с това анализът показва, че ефективността на контролните механизми зависи не само от тяхното формално наличие, а от качеството на прилагането им. Особено значение имат мотивираността на съдебните разрешения, реалната преценка на необходимостта и пропорционалността, ефективността на последващия контрол и защитата на лицата, чиито права са били ограничени.

Усъвършенстването на системата следва да бъде насочено към повишаване на стандарта на съдебния контрол, конкретизиране на критериите за необходимост и пропорционалност, по-добра институционална координация и развитие на механизмите за последваща проверка и отчетност. Подобен подход би допринесъл за по-устойчив баланс между ефективността на правоохранителната дейност и защитата на основните права на гражданите.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Бойчев, П. Специални разузнавателни средства. София, 2003.

[2] Вътрешни правила за организацията и дейността на Комисията за контрол над службите за сигурност, прилагането и използването на специалните разузнавателни средства и достъпа до данните по Закона за електронните съобщения. Народно събрание на Република България. Достъпно на: https://parliament.bg/bg/parliamentarycommittees/3606/reports/20022 [посетено на 23.09.2026].

[3] Грозев, П. СРС: незаконосъобразно използване и прилагане. Сиела, София, 2017.

[4] Европейска конвенция за защита на правата на човека и основните свободи. Рим, 4 ноември 1950 г. Council of Europe, ETS No. 005. Достъпно на: https://www.echr.coe.int/european-convention-on-human-rights [посетено на 23.09.2026].

[5] Закон за специалните разузнавателни средства. Обн. ДВ, бр. 95/21.10.1997 г., посл. изм. и доп. ДВ, 2026 г., https://lex.bg/laws/ldoc/2134163459 [посетено на 23.09.2026].

[6] Конституция на Република България. Обн. ДВ, бр. 56/13.07.1991 г., в сила от 13.07.1991 г., посл. изм. ДВ, бр. 66/06.08.2024 г. Народно събрание на Република България. Достъпно на: https://www.parliament.bg/bg/const?utm_source [посетено на 23.09.2026].

[7] Наказателно-процесуален кодекс. Обн. ДВ, бр. 86 от 28.10.2005 г., в сила от 29.04.2006 г., изм. и доп. ДВ, бр. 59 от 30.06.2026 г. Министерство на правосъдието. Достъпно на: https://justice.government.bg/home/normdoc/2135512224?utm_source [посетено на 23.09.2026].

[8] Национално бюро за контрол на специалните разузнавателни средства. Доклад на Националното бюро за контрол на специалните разузнавателни средства за извършената дейност през 2025 г. София, 2026. Достъпно на: https://www.nbksrs.bg/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82/%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8/?utm_source [посетено на 23.09.2026].

[9] Радулов, Н. Специални разузнавателни средства. София, 2010.

[10] Решение № 7 от 30.06.2020 г. на Конституционния съд на Република България по к.д. № 11/2019 г. Обн. ДВ, бр. 62 от 14.07.2020 г. Конституционен съд на Република България, https://www.constcourt.bg/content/yearbook/%D0%93%D0%9E%D0%94%D0%98%D0%A8%D0%9D%D0%98%D0%9A-2020.pdf

[11] Съд на Европейския съюз. Решение на Съда (трети състав) от 16 февруари 2023 г., HYA и др., дело C-349/21, ECLI:EU:C:2023:102. EUR-Lex. Достъпно на: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX:62021CJ0349 [посетено на 23.09.2026].

[12] Стоичков, О. Специални разузнавателни средства и служби за сигурност. Сиела, София, 2023.

[13] Христов, В., Савов, И. Управление и функциониране на службите за сигурност. ВУСИ, Пловдив, 2016.

[14] European Court of Human Rights. Ekimdzhiev and Others v. Bulgaria, Application no. 70078/12, Judgment of 11 January 2022, final 11 April 2022, ECLI:CE:ECHR:2022:0111JUD007007812. HUDOC. Достъпно на: https://hudoc.echr.coe.int/eng#{%22itemid%22:[%22001-214673%22]}[посетено на23.09.2026].

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF VULNERABILITIES IN WIRELESS CONTROL SYSTEMS IN THE 433 MHZ ISM BAND*

DIMITAR N. GRESHKOV, ZDRAVKO Y. KUZMANOV

ABSTRACT: *This report presents an experimental analysis of vulnerabilities in a wireless control system operating in the ISM band around 433 MHz, utilizing SDR tools for the interception, analysis, and retransmission of radio signals. The study examines the communication's key parameters and structure, as well as the impact of radio interference and the feasibility of executing a replay attack. The results reveal vulnerabilities stemming from the repetitive nature of the control signals and the absence of an effective mechanism to prevent their reuse.*

KEYWORDS: *wireless control systems, 433 MHz, ISM band, Software Defined Radio (SDR), OOK modulation, Replay attack, Wireless security, RF signal analysis*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26DNZ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН АНАЛИЗ НА УЯЗВИМОСТИ ПРИ БЕЗЖИЧНИ УПРАВЛЯВАЩИ СИСТЕМИ В ISM ДИАПАЗОНА 433 MHZ

ДИМИТЪР Н. ГРЕШКОВ, ЗДРАВКО Ю. КУЗМАНОВ

АБСТРАКТ: *В настоящия доклад е извършен експериментален анализ на уязвимости при безжична управляваща система, работеща в ISM диапазона около 433 MHz, с използване на SDR средства за прихващане, анализ и повторно предаване на радиосигнали. Изследвани са основните параметри и структура на комуникацията, както и влиянието на радиосмущенията и възможността за реализиране на replay атака. Получените резултати показват наличие на уязвимости, свързани с повторяемостта на управляващите сигнали и липсата на ефективен механизъм за защита срещу тяхното повторно използване.*

1 Въведение

Безжичните управляващи системи намират широко приложение в съвременните системи за автоматизация, дистанционно управление, контрол на достъп, сигнализация и управление на различни битови и индустриални устройства. Използването на радиокомуникация позволява предаването на управляващи команди без необходимост от физическа кабелна връзка между управляващото и изпълнителното устройство. Това опростява инсталацията, осигурява по-голяма гъвкавост и позволява реализирането на дистанционно управление на значително разстояние.

Особено широко разпространени са устройствата, работещи в субгигахерцовите честотни диапазони. Един от тях е диапазонът около 433 MHz, който се използва от множество устройства с малък обхват. Сред тях са дистанционни управления, безжични сензори, системи за контрол на достъп, алармени устройства, гаражни врати и различни устройства за автоматизация. В европейски условия диапазонът 433.050-434.790 MHz е определен в рамките на регулаторната рамка за Short Range Devices (SRD), като 433.92 MHz е широко използвана работна честота при различни устройства.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

При много нискобюджетни системи комуникационният протокол е максимално опростен. Това може да доведе до използване на фиксирани кодове, липса на криптографска защита и липса на механизми за проверка на актуалността на дадена команда. В резултат валидна радиокоманда може да бъде прихваната и впоследствие повторно предадена.

За изследването на подобни системи съвременните Software Defined Radio (SDR) устройства предоставят възможност за наблюдение и запис на радиосигнали, анализ на честотата и широчината на сигнала, модулацията и времевата структура на предаването. По този начин могат да се направят експериментални проверки на сигурността на конкретна безжична система. HackRF One например представлява SDR платформа, която работи в широк честотен диапазон от 1 MHz до 6 GHz и позволява както приемане, така и предаване на радиосигнали.

Целта на настоящия доклад е да се извърши експериментален анализ на уязвимостите на безжична управляваща система, работеща около 433 MHz. За целта е използвана лабораторна постановка, включваща радиоуправляемо устройство, HackRF One, YARD Stick One, Raspberry Pi 4 Model B и подходяща софтуерна среда. Изследването включва прихващане на радиосигналите, определяне на основните параметри на комуникацията, анализ на структурата на предаваните сигнали, проверка за възможност за replay атака и изследване на влиянието на контролирани радиосмущения.

Основната задача е не само да се установи дали дадена атака е възможна, а да се покаже връзката между конкретните характеристики на комуникационната система и установените рискове за нейната сигурност.

2 Характеристики на безжичните управляващи системи в диапазона 433 MHz

2.1. Основни характеристики на ISM диапазона

Терминът ISM (Industrial, Scientific and Medical) се използва за честотни диапазони, предназначени първоначално за индустриални, научни и медицински приложения. Част от тези диапазони се използват широко и за различни некомерсиални радиокомуникационни приложения, напр. гаражни врати и домашни IoT устройства.

Честотата 433.92 MHz е широко разпространена при нискоскоростни системи за дистанционно управление. При ниска мощност сигналът може да бъде приеман на значително разстояние. Големият брой устройства, използващи близки честоти, създава възможност за наличие на други радиосигнали в същия диапазон. Това е важно както за нормалната работа на системата, така и при анализ на нейната устойчивост към смущения.

От гледна точка на сигурността самият факт, че системата използва радиокомуникация, означава, че информацията може да бъде прихваната от устройство, намиращо се в зоната на разпространение на сигнала. Следователно защитата на информацията и командите не може да се основава единствено на ограничаването на физическия достъп до устройствата.

2.2. Използвани модулации и особености на комуникацията

При нискобюджетните безжични управляващи устройства в диапазона 433 MHz често се използват сравнително прости методи за модулация. Един от тях е Amplitude Shift Keying (ASK), при който информацията се представя чрез промяна на амплитудата на носещия сигнал.

Особено разпространена форма на ASK е On-Off Keying (OOK). При нея наличието на носещ сигнал може да се използва за представяне на една логическа стойност, а липсата му

– за друга. По този начин цифровата информация може да бъде представена чрез последователност от импулси с определена продължителност и интервали между тях.

Предимството на този подход е простата реализация. Не са нужни сложни радиокомпоненти и цифрова обработка, което позволява производството на евтини дистанционни управления и приемни модули. Недостатък е по-голямата чувствителност към шумове и промени в амплитудата на сигнала в сравнение с някои други методи.

Важно е да се подчертае, че използваната модулация сама по себе си не определя нивото на информационна сигурност. Сигурността зависи от начина, по който е структурирана информацията, как се идентифицира предавателят и дали приемникът проверява актуалността и автентичността на получената команда.

При изследваната система комуникацията е реализирана чрез кратки радиопредавания, които се появяват при натискане на бутон на дистанционното управление. Тази характеристика е типична за event-driven комуникация: радиосигнал се предава само при възникване на конкретно събитие, а не непрекъснато.

2.3. Основни уязвимости

При опростените системи за дистанционно управление могат да се наблюдават няколко основни категории уязвимости.

Първата е използването на фиксирани кодове. При такава схема определена команда се представя чрез една и съща последователност при всяко предаване. Ако сигналът бъде прихванат, той може да бъде съхранен и използван повторно.

Втората е липсата на криптиране. Ако управляващата информация се предава без криптографска защита, анализаторът може да извлече структурата на комуникацията и да свърже конкретни сигнали с конкретни действия.

Третата е липсата на какъвто и да е механизъм за защита от replay атаки. При replay атака нападателят не е необходимо да разбира напълно съдържанието на командата. Достатъчно е да запише валиден сигнал и впоследствие да го предаде отново. Ако приемникът не проверява дали командата е нова, той може да я приеме като легитимна.

Този тип уязвимост е особено релевантен при дистанционни управления с фиксирани кодове. За разлика от системите с rolling code или други механизми за динамично генериране на команди, при фиксирания код успешното прихващане на една команда може да бъде достатъчно за последващо възпроизвеждане на същото действие.



Фиг. 1. Replay атака

3 Експериментална постановка и методика

3.1. Използвани устройства и оборудване

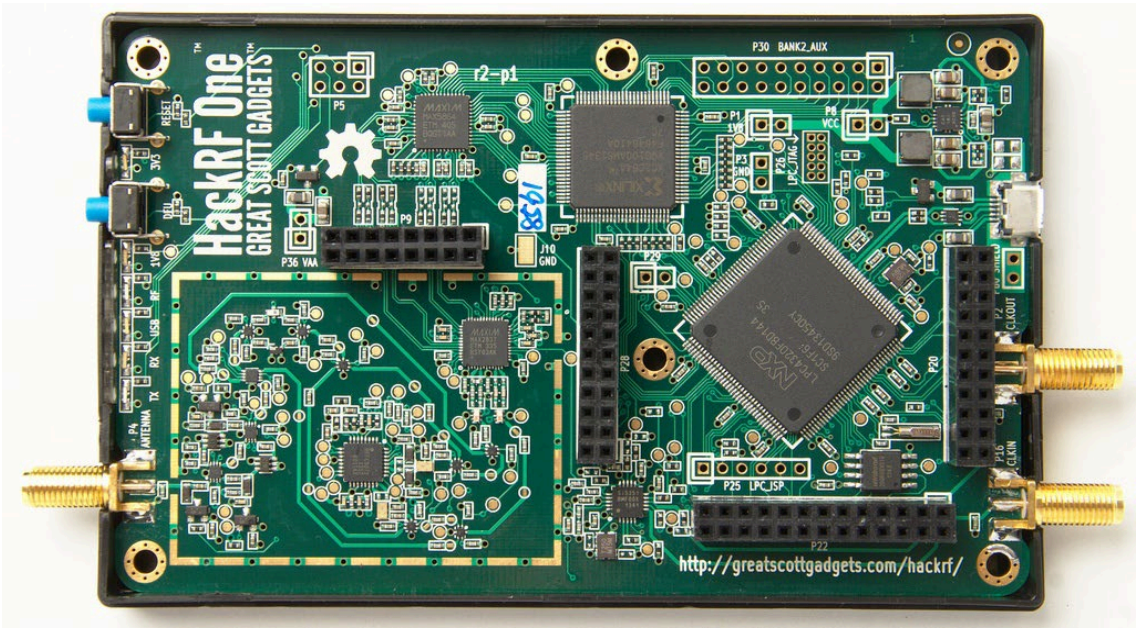
За експерименталното изследване е използвана лабораторна постановка, разработена за анализ на безжични управляващи системи в субгигахерцовия диапазон. Основните компоненти са:

- Raspberry Pi 4B с 4 GB оперативна памет;
- Kali GNU/Linux OS;
- HackRF One;
- YARD Stick One;
- подходящи антени;
- изследвано дистанционно управление;
- приемен модул с два управлявани изхода;
- USB връзки за управление и предаване на данни към радиоустройствата.

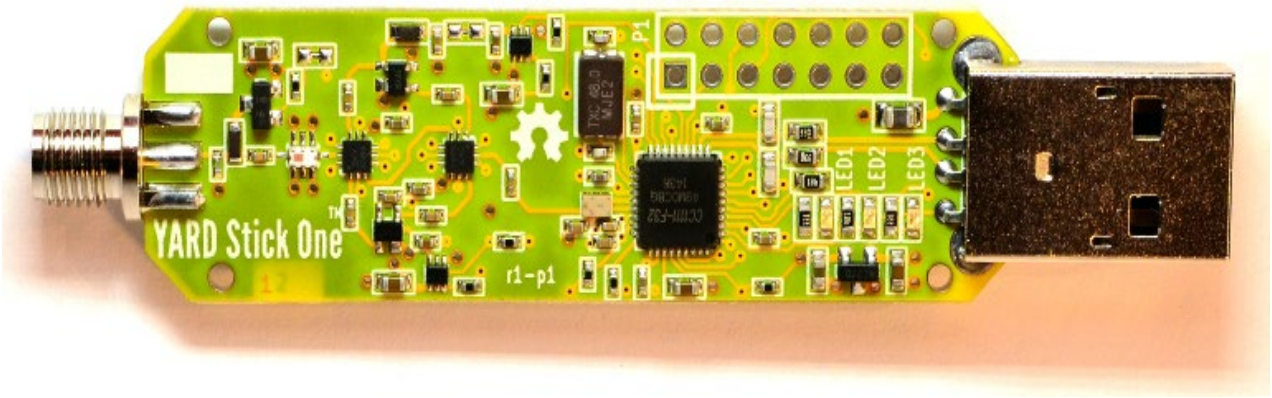
HackRF One е използван като SDR платформа за наблюдение и запис на радиосигнала. Това позволява анализ на сигнала в честотната и времевата област и съхраняване на I/Q данните за последваща обработка. Устройството има официален работен диапазон от 1 MHz до 6 GHz.

YARD Stick One е използван като допълващ инструмент за работа с цифрови радиосигнали под 1 GHz. За разлика от HackRF One, той не е SDR платформа, а стандартен RF трансивър, управляван от компютър. Официално поддържаните диапазони включват 300-348 MHz, 391-464 MHz и 782-928 MHz, което го прави подходящ за изследвания около 433 MHz. Поддържат се ASK, OOK, GFSK, 2-FSK, 4-FSK и MSK.

Използването на двата инструмента позволява сравнение между два различни подхода. HackRF One предоставя достъп до по-ниско ниво на радиосигнала и позволява работа със записани I/Q данни. YARD Stick One предоставя по-високо ниво на работа с цифровия радиотрансивър и може да бъде управляван чрез RfCat от Python среда.



Фиг. 2. HackRF One



Фиг. 3. YARD Stick One

3.2. Организация на лабораторната постановка

Изследваната система се състои от безжично дистанционно управление и приемен модул с релета. При натискане на бутон дистанционното управление предава радиосигнал, който се приема от приемния модул. При разпознаване на съответната команда приемникът активира определен изход.

HackRF One е свързан към Raspberry Pi чрез USB. Към радиоустройството е свързана антена, предназначена за съответния честотен диапазон. На Raspberry Pi е инсталирана Kali GNU/Linux. За работа с HackRF е използвана GNU Radio среда. Чрез този софтуер се изгражда сигнална схема, която автоматично се превръща в Python скрипт за изпълняване от HackRF One. При необходимост сигналът може да бъде записан във файл за последващ анализ.

YARD Stick One е свързан отделно към USB интерфейса и се управлява чрез RfCat. По този начин може да бъде зададена работната честота и режимът на модулация, след което да се наблюдава приеманата информация.

3.3. Методика за прихващане и анализ на сигналите

Методиката на изследването е разделена на няколко последователни етапа.

Първо се наблюдава радиочестотният диапазон около предполагаемата работна честота. Целта е да бъде установено дали при натискане на определен бутон се появява отчетлив радиосигнал.

След установяване на активността се извършва запис на сигнала. При HackRF One се записват I/Q данни, които позволяват последващ анализ без необходимост от повторно извършване на предаването.

След това се определят основните параметри на сигнала – централна честота, приблизителна широчина, вид на модулацията и времева структура.

Следва анализ на няколко предавания на една и съща команда. Сравняването на записите позволява да се установи дали сигналът остава еднакъв или се променя при всяко натискане на бутона.

След това се проверява възможността за повторно предаване на записан сигнал. Експериментът се извършва само в контролираната лабораторна среда с изследваното устройство.

Накрая се провежда експеримент за оценка на влиянието на радиосмущенията върху работата на системата. Целта е да се установи доколко увеличаването на радиошума в близост до работната честота влияе върху обхвата и надеждността на комуникацията.

4 Експериментално изследване на безжичната комуникация

4.1. Прихващане и анализ на сигналите

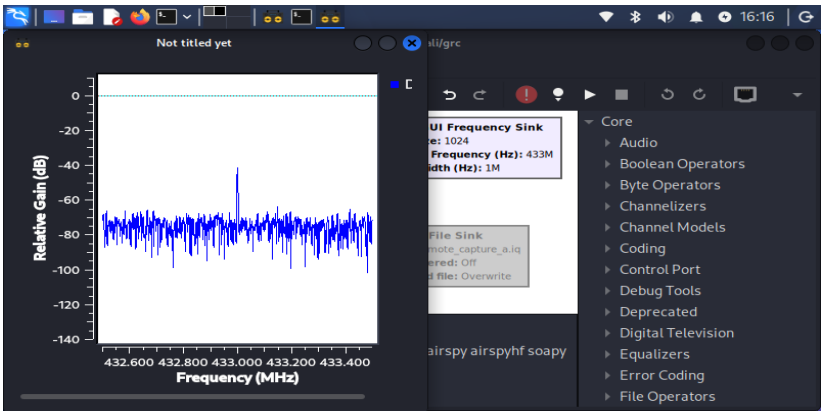
Първоначалното наблюдение е извършено с HackRF One чрез GNU Radio. При задаване на централна честота около 433 MHz и подходяща честотна широчина при натискане на бутон на дистанционното управление се наблюдава кратък, ясно различим сигнален пакет.

При липса на активност около работната честота се наблюдава основно фонов шум. При натискане на бутон се появява кратък сигнален импулс, който се отличава от околния шум. Това позволява сравнително лесно идентифициране на комуникацията.

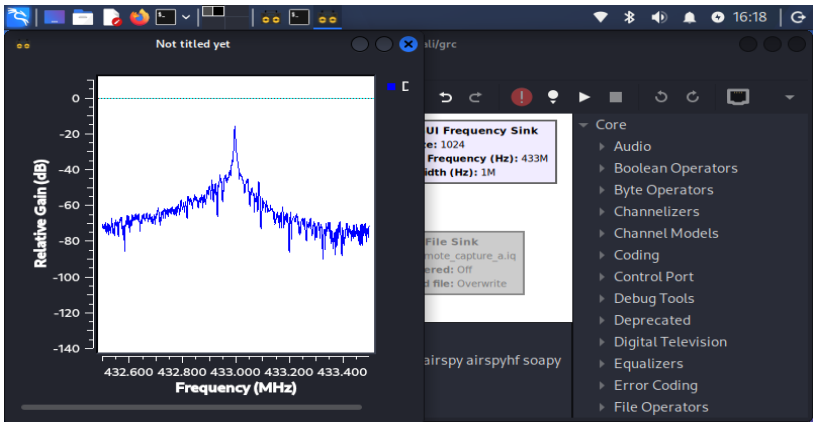
В лабораторната постановка е използвана честота около 433 MHz. При няколко последователни натискания на един и същ бутон се наблюдава сходна времева структура на сигналите. Предаването не е непрекъснато, а се активира в момента на подаване на команда от потребителя.

Този резултат показва, че системата използва кратки събитийно задействани радиопредавания. От гледна точка на анализа това е удобно, тъй като между отделните предавания има достатъчно интервали, в които може да се наблюдава базовото ниво на шума.

Записът на I/Q данните позволява сигналите да бъдат разглеждани и след приключване на експеримента. Това е важно, тъй като дава възможност една и съща комуникация да бъде анализирана многократно при различни настройки.



Фиг. 4. Радиосреда в нормално състояние



Фиг. 5. Радиосреда при натиснат бутон на дистанционното

4.2. Определяне на параметрите на комуникацията

Основният параметър, установен чрез спектралното наблюдение, е работната честота около 433 MHz, като използваната система работи около 433.92 MHz.

Наблюдаваната честотна област на предаването показва сравнително тесен сигнал, като реалната широчина зависи от настройките на приемника, използваната честотна дискретизация и начина на визуализация. В рамките на експеримента сигналът се наблюдава в област от порядъка на десетки до няколкостотин kHz.

Анализът на времевата структура показва наличие на импулси с различна продължителност. При OOK логическата информация се представя чрез наличието или отсъствието на носещия сигнал. Поради това визуалното наблюдение на сигнала позволява да се направи заключение за използването на OOK.

Допълнително е установено, че различните команди на дистанционното управление се представят чрез различни последователности. При измерванията се наблюдават малки разлики в амплитудата между отделните команди, приблизително от порядъка на 0.5–1 dB. Тези разлики не са достатъчни сами по себе си за определяне на съдържанието на командата, но показват нормалните вариации на получавания RF сигнал.

Важно е да се отбележи, че модулацията OOK не осигурява криптографска защита. Тя описва начина, по който цифровата информация се представя върху носещия сигнал. Следователно установяването на OOK не е само по себе си доказателство за уязвимост. Уязвимостта възниква от комбинацията между OOK, фиксираната структура на командите и липсата на допълнителен механизъм за удостоверяване.

4.3. Анализ на структурата на предаваните данни

За да се установи дали системата използва динамична или фиксирана информация, са направени множество последователни предавания на една и съща команда.

При визуалното сравнение на записите се наблюдава повтаряща се структура. Сигналът се състои от кратки импулси, като последователността се повтаря при подаване на една и съща команда.

Това е характерен признак за система, при която командите са предварително определени. Ако при всяко натискане се генерираше нова криптографски защитена стойност или rolling code, записите биха показвали съществена промяна между отделните предавания.

В изследваната система не се наблюдава такава динамична промяна. Това позволява да се направи заключение, че за конкретните изследвани команди се използва повторяем сигнален шаблон.

При този тип комуникация нападателят не е задължително да разбира семантиката на всички битове или импулси. Ако приемникът приема същата физическа последователност като валидна команда и не проверява нейната актуалност, самият запис на сигнала може да бъде достатъчен за повторно изпълнение на командата.

Това е съществената разлика между анализ на протокола и replay атака. За replay атака не е нужно да бъде напълно разбран вътрешният формат на командата. Нужно е само да бъде възпроизведен сигналът достатъчно точно, че приемникът да го разпознае като валиден.

5 Изследване на уязвимостите

5.1. Изследване на replay атака

Основният експеримент за оценка на сигурността е проверката за replay атака.

Първоначално валидна команда от дистанционното управление е прихваната с HackRF One. Сигналът е записан като I/Q данни. Записаните данни са използвани като източник за последващо радиопредаване. При повторното предаване HackRF One генерира радиосигнал със същата честотна и времева структура като записания сигнал.

Приемният модул реагира на повторно предадения сигнал по същия начин, както при оригиналното натискане на бутона. Това означава, че приемникът не различава оригиналното предаване от възпроизведеното записано предаване.

Резултатът е пряко експериментално доказателство, че изследваната система е податлива на replay атака. Причината за това поведение е липсата на механизъм, който да прави всяка команда еднократна или да позволява на приемника да провери дали командата вече е била използвана. При фиксирана команда записаният сигнал остава валиден и след първоначалното му използване.

Тук трябва да се направи важно разграничение. Успешната replay атака доказва, че в конкретната комуникация липсва ефективна защита срещу повторно използване на прихванатата команда. Тя сама по себе си не е необходимо да доказва всички вътрешни характеристики на протокола, например точния начин на кодиране или конкретния хардуерен енкодер.

В практическо отношение обаче резултатът е достатъчен, за да се определи значим риск за системи, при които една прихванатата команда може да предизвика нежелано действие.

5.2. Изследване на влиянието на смущенията

Вторият експеримент има за цел да изследва устойчивостта на комуникацията към радиосмущения.

При нормални условия системата показва надеждна комуникация на разстояние приблизително 25–30 m в рамките на проведените лабораторни измервания. Точният обхват зависи от разположението на устройствата, антените, препятствията и радиосредата.

След въвеждане на контролирано широколентово шумово въздействие в близост до работната честота надеждността на комуникацията намалява. При проведените експерименти ефективният обхват е намален до приблизително 8-10 m.

Полученият резултат показва, че приемникът е чувствителен към повишаване на нивото на радиошума около работната честота. Това е очаквано при системи, използващи сравнително проста OOK/ASK модулация, при която информацията е свързана с амплитудното наличие на носещ сигнал.

Експериментът не трябва да се разглежда като оценка на всички възможни видове радиосмущения. Полученият резултат се отнася конкретно до използваната лабораторна конфигурация, нивото на сигнала, разстоянието и характера на генерираното смущение.

От гледна точка на сигурността смущенията представляват различен тип проблем в сравнение с replay атаката. При replay атаката целта е неоторизирано изпълнение на валидна команда. При смущението целта е нарушаване на нормалната комуникация. Следователно първият проблем засяга автентичността на командите, докато вторият директно засяга успешната работа на системата.

5.3. Анализ на установените уязвимости

В резултат на проведените експерименти могат да бъдат разграничени няколко основни характеристики на изследваната система.

Първо, комуникацията се реализира около 433.92 MHz и използва OOK. Това улеснява изграждането на евтина и сравнително проста радиосистема.

Второ, предаваните команди имат повторяема структура. При подаване на една и съща команда се наблюдава сходен сигнален шаблон.

Трето, при повторно предаване на прихванат сигнал приемникът изпълнява съответната команда. Следователно не е налице ефективен механизъм за защита от replay.

Четвърто, системата реагира чувствително на увеличаване на нивото на радиосмущенията. При проведените експерименти това води до значително намаляване на надеждния комуникационен обхват.

Комбинацията от тези характеристики показва, че основният проблем не е самият избор на честота 433 MHz. Честотата е само средата, в която се осъществява комуникацията. Основният фактор за сигурността е липсата на механизми на по-високо ниво за удостоверяване и защита на командите.

Това е важен извод, тъй като една и съща честота може да бъде използвана от системи с напълно различни нива на сигурност. Например система с динамични кодове, криптографска автентикация и защита от повторно използване на съобщенията може да работи в същия честотен диапазон, но да има значително различни свойства по отношение на сигурността.

6 Препоръки за повишаване на сигурността

Основната препоръка към безжичните управляващи системи от разглеждания тип е да не се разчита на фиксирани управляващи кодове.

Един от подходите е използването на rolling code механизъм. При него всяко следващо предаване съдържа различна стойност, свързана с предишните съобщения или с вътрешно състояние на системата. Така прихващането на една валидна команда не трябва да позволява нейното неограничено повторно използване.

По-надежден подход е използването на криптографска автентикация. При него приемникът трябва да може да провери дали съобщението е генерирано от доверен предавател и дали не е модифицирано. За тази цел могат да се използват подходящи криптографски механизми с достатъчна дължина на ключа и защита от повторно използване на стари съобщения.

Необходимо е също да бъде въведен механизъм за проверка на актуалността на съобщението. Това може да се реализира чрез брояч, nonce, времеви маркер или друг подходящ механизъм. Основната цел е приемникът да може да различи нова валидна команда от стар запис, който е бил прихванат по-рано.

При проектирането на нови системи е препоръчително да се използват комуникационни протоколи, които осигуряват не само предаване на данни, но и необходимите механизми за удостоверяване и защита от повторно предаване.

Следва да се обърне внимание и на устойчивостта към смущения. Макар че напълно елиминиране на радиосмущенията не е възможно, могат да се използват подходящи техники за подобряване на надеждността – например по-устойчиви схеми за модулация, кодиране с корекция на грешки, повторно предаване на съобщения при загуба, проверка на целостта и подходящо управление на канала.

Изборът на по-сложен протокол обаче трябва да бъде съобразен с предназначението на системата. Увеличаването на сигурността води до допълнителни изисквания към хардуера, софтуера, консумацията на енергия и цената. При критични системи тези фактори трябва да бъдат разглеждани заедно с последствията от неоторизирано управление.

Особено важно е да се прилага принципът на защита в дълбочина. Не трябва да се приема, че ограничаването на физическия обхват или използването на по-малка

предавателна мощност представлява достатъчна защита. Ако радиосигналът може да бъде прихванат, логическата защита на командите остава необходима.

7 Заключение

В настоящия доклад е извършен експериментален анализ на безжична управляваща система, работеща в диапазона около 433 MHz. Изследването е проведено в контролирана лабораторна среда с помощта на HackRF One, YARD Stick One, Raspberry Pi 4 Model B и подходяща софтуерна среда.

В началния етап е установено, че изследваната система работи около 433.92 MHz и използва OOK модулация. Наблюдаваните предавания са кратки и се активират при натискане на бутон на дистанционното управление. Анализът на последователни предавания показва повторяема структура на сигналите.

Чрез използването на HackRF One е възможно радиосигналите да бъдат прихванати и записани като I/Q данни. Това предоставя възможност за последващ анализ на сигнала и повторното му предаване в контролирана лабораторна среда. YARD Stick One е използван като допълващ инструмент за работа с цифровата радиокомуникация и показва различен подход към анализа на субгигахерцови системи. Самият производител определя YARD Stick One като инструмент за цифрови радиосистеми под 1 GHz, а не като SDR платформа, което обяснява разликата в нивото на достъп до сигнала спрямо HackRF One.

Най-съществения резултат от изследването е успешното извършване на replay атака. Прихванат сигнал е предаден повторно и приемният модул е изпълнил съответната команда. Това показва, че изследваната система не разполага с ефективна защита срещу повторно предаване на валидна команда.

Проведеният експеримент със смущения показва и зависимост между нивото на радиошума и надеждността на комуникацията. При нормални условия е наблюдаван комуникационен обхват около 25–30 m, докато при наличие на контролирани смущения в близост до работната честота надеждният обхват е намален до приблизително 8–10 m.

Получените резултати показват, че сигурността на безжичната управляваща система не се определя от използването на конкретна честота или конкретна модулация. Основните рискове произтичат от липсата на механизми за удостоверяване, динамично управление на командите и защита срещу повторно използване на прихванати съобщения.

За подобряване на сигурността са предложени използване на динамични кодове, криптографска автентикация, механизми за защита от replay атаки и подходящи средства за повишаване на устойчивостта към радиосмущения.

Проведеното изследване потвърждава практическата стойност на лабораторния анализ на радиоуправляеми системи. Комбинирането на SDR платформа като HackRF One със специализиран инструмент като YARD Stick One позволява разглеждане на комуникацията на различни нива – от физическата форма на радиосигнала до цифровата структура на предаваната информация. По този начин могат да бъдат идентифицирани слабости, които не биха били очевидни само чрез наблюдение на нормалното функциониране на управляваното устройство.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] ITU Radio Regulations 2020, CHAPTER II – Frequencies, ARTICLE 5 Frequency allocations, Section IV – Table of Frequency Allocations. https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.44.48.en.101.pdf

[2] McNeil, Peter (2021-12-16). "More on ISM Bands Around the World". Pasternack Blog.. https://www.pasternack.com/blog/radio-frequency-education-courses/more-on-ism-bands-around-the-world/

[3] ThinkRobotics – 433 MHz RF-Module Communication Basics: A Complete Guide. https://thinkrobotics.com/blogs/learn/433-mhz-rf-module-communication-basics-a-complete-guide

[4] University of St Andrews. "Simple Binary Modulation – One Bit at a Time". https://www.st-andrews.ac.uk/~www_pa/Scots_Guide/RadCom/part19/page1.html

[5] Van de Beek, S. "Vulnerability of Remote Keyless-Entry Systems Against Pulsed Electromagnetic Interference and Possible Improvements". https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6863772/07482738.pdf

[6] Great Scott Gadgets – HackRF One. https://greatscottgadgets.com/hackrf/one/

[7] Great Scott Gadgets – YARD Stick One. https://greatscottgadgets.com/yardstickone/

[8] Essam Atalla et al. "A Practical Step Forward Toward Software-Defined Radio Transmitters". https://personal.utdallas.edu/~kamran/SDR.pdf

[9] International Telecommunication Union. "Data format definition for exchanging stored I/Q data for the purpose of spectrum monitoring". https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.2117-0-201809-I!!PDF-E.pdf00

[10] Shechter, S (2026-06-16).”Mitigating Vulnerabilities in Remote/Passive Keyless Entry Systems”. PlaxidityX. https://plaxidityx.com/blog/vehicle-vulnerability-management/keyless-entry-theft-vulnerability-cars/#keyless-entry-security-requires-an-ai-driven-proactive-approach

SECURITY OF INFORMATION FLOWS IN HIGHER EDUCATION ADMINISTRATION: RISKS AND PROTECTION MEASURES*

EDA E. ZAKIR, DONIKA V. DIMANOVA

ABSTRACT: *The digitalization of administrative processes in higher education institutions leads to an increase in the volume and intensity of information exchange among different structural units, academic staff, students, and external institutions. This creates a need for systematic analysis of the risks associated with the processing, transmission, and storage of information. The paper examines the main vertical and horizontal information flows in university administration, identifies characteristic human, technological, and organizational risks, and analyzes appropriate measures for their mitigation. On this basis, guidelines are formulated for enhancing the security and resilience of the university information environment.*

KEYWORDS: *information flows, information security, higher education institution, cyber risks, access control, information protection*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26EEZ

СИГУРНОСТ НА ИНФОРМАЦИОННИТЕ ПОТОЦИ В АДМИНИСТРАЦИЯТА НА ВИСШЕ УЧИЛИЩЕ: РИСКОВЕ И МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА

ЕДА Е. ЗАКИР, ДОНИКА В. ДИМАНОВА

АБСТРАКТ: *Дигитализацията на административните процеси във висшите училища води до увеличаване на обема и интензивността на информационния обмен между различни структурни звена, преподаватели, студенти и външни институции. Това създава необходимост от системен анализ на рисковете, свързани с обработването, предаването и съхранението на информация. В доклада се разглеждат основните вертикални и хоризонтални информационни потоци в университетската администрация, идентифицират се характерни човешки, технологични и организационни рискове и се анализират подходящи мерки за тяхното ограничаване. На тази основа се формулират насоки за повишаване на сигурността и устойчивостта на университетската информационна среда.*

1 Въведение

Дигитализацията на административните и академичните процеси във висшите училища води до значително увеличаване на обема, скоростта и разнообразието на обменяната информация. В ежедневната дейност на университетската администрация се обработват лични, академични, кадрови, финансови и служебни данни, които се предават между различни структурни звена, преподаватели, студенти и външни институции. Това превръща сигурността на информационните потоци в съществен елемент от надеждното функциониране на университетската среда [1, 2].

Информационните потоци представляват процес на създаване, обработване, предаване, използване и съхранение на информация между отделни участници и системи. Във висшето училище те могат да бъдат както вертикални - между различни управленски нива, така и хоризонтални - между равнопоставени административни и академични звена.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

Ефективното им управление подпомага координацията, административното обслужване и процесите на вземане на решения, но едновременно с това създава необходимост от надеждна защита на използваните комуникационни канали и информационни ресурси [4, 5]. Уязвимостите на безжична компютърна мрежа, защитена с WPA2, са анализирани в [7].

Разнообразието от използвани информационни системи, електронна поща, системи за електронен документооборот, облачни услуги и други цифрови платформи увеличава възможностите за бърз обмен на информация, но също така разширява потенциалната повърхност за възникване на инциденти. Сред основните рискове се открояват неоторизираният достъп, загубата или неправомерното разкриване на данни, човешките грешки, неправилното управление на потребителските права, техническите неизправности и кибератаките [2, 3, 18].

Сигурността на информационните потоци не може да бъде осигурена единствено чрез технически средства. Необходимо е съчетаване на организационни правила, контрол на достъпа, ясни процедури, обучение на служителите, актуализиране на системите и надеждни механизми за архивиране и възстановяване. Подобен комплексен подход създава условия за ограничаване на рисковете и за поддържане на устойчиво функциониране на университетската информационна среда [1, 2].

Целта на настоящия доклад е да се анализират основните информационни потоци в администрацията на висше училище, да се идентифицират характерните рискове за тяхната сигурност и да се систематизират организационни и технически мерки за тяхното ограничаване.

За постигане на поставената цел се използват методите на анализ, сравнение и систематизиране на специализирани и нормативни източници, както и структурен анализ на основните информационни взаимодействия в университетската администрация.

2 Информационни потоци в администрацията на висше училище

Информационните потоци в администрацията на висше училище представляват съвкупност от процеси по създаване, предаване, обработване, съхранение и използване на информация между различните участници в академичната и административната дейност. Те осигуряват координацията между ръководните органи, административните звена, преподавателите, студентите и външните институции и имат пряко значение за ефективността на управленските и обслужващите процеси [4, 5].

В зависимост от посоката на движение на информацията могат да бъдат разграничени два основни типа потоци - вертикални и хоризонтални. Вертикалните информационни потоци се осъществяват между различни йерархични равнища и осигуряват предаването на управленски решения, отчети, справки, указания и обратна връзка. Те подпомагат контрола върху изпълнението на поставените задачи и проследимостта на административните действия. Основните рискове при този тип обмен са свързани със забавяне на информацията, непълнота, дублиране, информационни изкривявания и недостатъчна координация между отделните управленски нива [4].

Хоризонталните информационни потоци се реализират между структурни звена и служители, намиращи се на едно и също организационно равнище. Те имат важно значение за координацията между факултети, катедри, учебни и административни отдели и подпомагат съвместното изпълнение на дейности, обмена на документи и подготовката на управленска информация. Използването на динамични масиви в MS Excel за обработка и анализ на данни в информационни системи е разгледано в [20]. Недостатъчната

комуникация, липсата на единни информационни стандарти и дублирането на дейности могат да намалят ефективността на този обмен [4, 5].

В университетската администрация могат да бъдат откроени няколко основни информационни взаимодействия (фигура 1). Потокът „Студент - Учебен отдел“ включва данни, свързани със записване, академичен статус, оценки, заявления и документи по дипломиране. Потокът „Преподавател - Администрация“ обхваща информация за преподавателска натовареност, учебни графици, изпитни протоколи и отчетност на учебната дейност. Съществено значение има и двупосочният обмен между факултетите и ректората, както и между университета и външни институции, при който се предават отчетни, нормативни, кадрови и статистически данни.



Фигура 1. Основни информационни потоци в администрацията на висше училище

Представената структура показва, че информационните потоци във висшето училище образуват взаимосвързана мрежа, в която нарушаването на сигурността в един канал или звено може да окаже влияние върху други административни и академични процеси [6].

Наред с външните взаимодействия, съществена роля имат и вътрешните административни потоци между отделите „Човешки ресурси“, финансово-счетоводните звена, деловодството и информационно-технологичните структури. Този обмен е необходим за поддържане на кадровите, финансовите и организационните процеси и се осъществява чрез вътрешни информационни системи, електронен документооборот, електронна поща и специализирани програмни продукти. Приложението на облачните технологии в образованието е разгледано в [10].

С развитието на цифровата среда значението на интегрираните информационни системи нараства, тъй като те позволяват еднократно въвеждане и многократно използване на данните, по-добра проследимост на обработката и по-ефективна координация между

отделните звена [5]. Същевременно концентрацията на значителни масиви от информация в електронна среда увеличава необходимостта от надеждно управление на достъпа, защита на комуникационните канали и ясно регламентиране на отговорностите при работа с данни.

От гледна точка на сигурността всеки информационен поток следва да бъде разглеждан като последователност от етапи: създаване, предаване, обработване, съхранение и последващо използване на информацията. На всеки от тези етапи могат да възникнат различни рискове, свързани с неправомерен достъп, загуба, изменение, неправилно адресиране или нарушаване на достъпността на данните. Поради това защитата следва да бъде насочена не само към отделните информационни системи, а към целия жизнен цикъл на информационния поток. Връзката между информационната и административната сигурност е разгледана в [9], а защитата на административните процеси от външни и вътрешни заплахи е обсъдена в [12].

3 Основни рискове за сигурността на информационните потоци

Рисковете за сигурността на информационните потоци могат да възникнат на всеки етап от движението на информацията - от нейното създаване и предаване до обработването, съхранението и последващото използване. Характерът на риска зависи от вида на информацията, използвания комуникационен канал, правата за достъп и организационните процедури, чрез които се осъществява конкретният информационен обмен. Анализът на причините и последствията като метод за управление на риска е разгледан в [14].

Основните рискове могат да бъдат систематизирани в три взаимно свързани групи: човешки, технологични и организационни. Подобно разграничение позволява по-ясно да бъдат установени уязвимите точки по движението на информацията и да бъдат определени подходящи мерки за защита.

Човешките рискове възникват преди всичко при създаването, обработването и предаването на информация. Типични проявления са използването на слаби или повтарящи се пароли, споделянето на потребителски акаунти, неправилното адресиране на електронни съобщения, грешното изпращане на документи и недостатъчната способност за разпознаване на фишинг и други форми на социално инженерство [3]. Подобни действия могат да доведат до нарушаване на конфиденциалността и целостта на информацията дори когато са внедрени технически механизми за защита. Прилагането на FMEA за оценка на човешката надеждност е разгледано в [13].

Технологичните рискове са свързани с инфраструктурата и системите, чрез които се осъществява движението на информацията. Софтуерни уязвимости, технически неизправности, прекъсване на комуникационни услуги, компрометиране на потребителски профили, зловреден софтуер и ransomware могат да доведат до загуба, изменение или недостъпност на информацията [2, 18]. Рискът се увеличава, когато различни системи функционират без достатъчна интеграция или когато липсват последователни политики за актуализиране, удостоверяване и контрол на достъпа.

Организационните рискове произтичат от недостатъчно ясно регламентирани правила за движение и обработване на информацията. Липсата на единни процедури за предоставяне и прекратяване на права за достъп, обмен на електронни документи, архивиране, регистриране на инциденти и управление на риска може да доведе до дублиране, забавяне, непълнота и затруднена проследимост на информационните потоци [1].

Характерът на риска се различава и според конкретния административен поток. При взаимодействието „Студент - Учебен отдел“ основен акцент е защитата на личните и

академичните данни. При потока „Преподавател - Администрация“ особено значение имат целостта и точността на изпитните протоколи, учебните графици и отчетната информация. При обмена „Факултети - Ректорат“ и „Университет - Външни институции“ се увеличава значението на навременното и коректно предаване на управленски, кадрови, нормативни и статистически данни.

Особено чувствителни точки във всички тези потоци са електронната поща, системите за електронен документооборот и платформите за споделена работа. Неправилното адресиране, недостатъчният контрол върху споделените ресурси и неправилното управление на потребителските права могат да доведат до неоторизиран достъп, загуба или неправомерно разкриване на информация.

В обобщение, сигурността на информационните потоци зависи не само от защитата на отделните информационни системи, а от надеждността на целия процес на движение на информацията между източника, обработващото звено и крайния получател.

4 Организационни и технически мерки за защита на информационните потоци

Ефективната защита на информационните потоци изисква мерките за сигурност да обхващат всички етапи от техния жизнен цикъл: създаване, предаване, обработване, съхранение и архивиране на информацията. Организационните и техническите механизми следва да се прилагат съгласувано, тъй като надеждността на информационния обмен не може да бъде осигурена само чрез технологични решения [1, 2].

Организационните мерки трябва да определят правилата за движение на информацията между отделните звена, отговорностите на участниците и допустимите комуникационни канали. Особено значение имат процедурите за предоставяне, промяна и прекратяване на права за достъп, работа с електронни документи, обмен на чувствителна информация и реагиране при инциденти [1].

Класифицирането на информацията според нейната чувствителност позволява различните информационни потоци да бъдат защитени в съответствие с характера на предаваните данни. Публичната, служебната, поверителната и критичната информация изискват различни нива на достъп, контрол и проследимост. По този начин защитните механизми могат да бъдат съобразени не само със системата, в която се намират данните, но и с тяхното движение между различните участници.

Съществен организационен елемент е и проследимостта на информационния поток. Възможността да се установи кой е създал, получил, променил или предоставил дадена информация намалява риска от неоторизирани действия и подпомага анализа на възникнали инциденти. Наблюдението на комуникационните мрежи с Wireshark е разгледано в [16], компютърната сигурност и управлението на трафика в [17], а съвременните киберзаплахи в [18].

Техническите мерки следва да осигуряват защита както на самите информационни системи, така и на каналите, чрез които информацията се предава. Те включват надеждно удостоверяване, контрол на достъпа, многофакторна автентикация (MFA), криптиране при необходимост, актуализиране на системите и защита на електронните комуникации [2, 17].

Особено значение имат мерките за гарантиране на достъпността и непрекъсваемостта на информационните потоци. Редовното архивиране и периодичното тестване на процедурите за възстановяване ограничават последствията от технически повреди, човешки грешки и ransomware и позволяват възстановяване на критичните административни процеси.

По този начин защитата на информационните потоци следва да се реализира като система от взаимно допълващи се организационни и технически механизми, които осигуряват конфиденциалност, целостност, достъпност и проследимост на информацията през целия ѝ жизнен цикъл. По-общите проблеми на информационната защита в системата на националната и корпоративната сигурност са разгледани в [15].

5 Насоки за повишаване на сигурността на информационните потоци

Повишаването на сигурността на информационните потоци следва да бъде насочено не само към внедряване на допълнителни технически средства, а към подобряване на начина, по който информацията се движи между отделните структурни звена и информационни системи.

На първо място е необходимо стандартизиране на информационните потоци чрез ясно определяне на източника, получателя, вида на информацията, допустимите комуникационни канали и отговорностите при всеки основен административен процес. Това би ограничило дублирането на данни, използването на неофициални канали и риска от неправилно адресиране на документи.

Второ направление е повишаването на проследимостта. Информационните системи и системите за електронен документооборот следва да осигуряват възможност за проследяване на основните действия с информацията: създаване, достъп, изменение, предаване и архивиране. Това позволява по-ефективен контрол и по-бързо установяване на причините при възникване на инцидент.

Съществен потенциал има интеграцията на административните информационни системи. Свързването на отделни системи и регистри може да ограничи многократното въвеждане на една и съща информация, да намали риска от несъответствия и да осигури по-висока актуалност на данните [5]. Интеграцията обаче следва да бъде съпроводена с ясно управление на правата за достъп и защита на обмена между системите.

Необходимо е също така да бъде въведен подход, основан на критичността на информационните потоци. Потокове, свързани с лични данни, академични резултати, финансови операции или кадрова информация, следва да бъдат идентифицирани като приоритетни и за тях да се прилагат по-високи изисквания за удостоверяване, контрол, архивиране и възстановяване.

Развитието на културата за информационна сигурност остава важен елемент, тъй като служителите са непосредствени участници в движението на информацията. Обученията следва да бъдат ориентирани към конкретни ситуации от ежедневната работа: изпращане на документи, работа с чувствителни данни, използване на електронна поща, разпознаване на фишинг и правилно реагиране при инциденти [1, 3]. Наред с подготовката за работа с текущо използваните информационни системи, обучението следва да развива и компетентности за критично и безопасно използване на нововъзникващи цифрови технологии [8, 11].

Сигурността на информационните потоци следва да бъде обект на периодична оценка и актуализиране. Промени в структурата на университета, въвеждането на нови системи или услуги и появата на нови рискове могат да променят начина, по който информацията се движи, и съответно да изискват адаптиране на защитните механизми. Модел за управление на административната сигурност в община е предложен в [19] и представлява отделен пример от публичната администрация.

В обобщение, устойчивото управление на информационните потоци предполага тяхното ясно дефиниране, стандартизиране, проследяване и защита през целия жизнен цикъл. Подобен подход позволява сигурността да бъде интегрирана в самата организация на информационния обмен, а не да се прилага като допълнителен слой след изграждането на административните процеси.

6 Заключение

Сигурността на информационните потоци в администрацията на висше училище е съществен фактор за надеждното функциониране на административните и академичните процеси. Разнообразието от участници, системи и комуникационни канали създава сложна информационна среда, в която рисковете могат да възникнат както вследствие на човешки грешки, така и поради технологични уязвимости и организационни слабости.

Анализът показва, че ефективната защита на информационните потоци изисква интегриран подход, който съчетава ясни организационни правила, надежден контрол на достъпа, подходящи механизми за удостоверяване, редовно актуализиране на системите, защита на комуникационните канали и устойчиви процедури за архивиране и възстановяване.

Особено значение има системното управление на риска и развитието на култура за информационна сигурност сред служителите. Прилагането на съгласувани организационни и технически мерки създава предпоставки за по-надежден, проследим и устойчив обмен на информация и подпомага ефективното функциониране на университетската информационна среда.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Василев, Д. Управление на информационна сигурност в образователните институции: политики, процедури и добри практики. Варна: Наука и икономика, 2024, с. 213–219. ISBN 978-954-21-1184-9.

[2] Димов, П., Здравков, З., Добрева, Х. Информационна сигурност. ВА „Г. С. Раковски“, София, 2021.

[3] Домозетов, Х. Човешки фактор и информационна сигурност. В: Information & Security: An International Journal, 1998, № 1, с. 46–60.

[4] Загорчева-Койчева, Д. П. Система за успешно управление на образователна институция. Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2022.

[5] Игнатов, И. И. Интегрирана информационна система за управление на процесите и дейностите във Военна академия „Г. С. Раковски“. В: Сборник доклади от Годишна научна конференция „110 години традиция, качество, престиж“, част III. София: Военна академия „Г. С. Раковски“, 2022.

[6] Методиева, Ц., Анализ на индикаторите в образователните услуги за сектор сигурност. Сборник с доклади от дискусионна кръгла маса на тема: Академични партньорства в сферата на националната сигурност, 12-13 май 2022 г., стр. 37-43, ISBN 978-619-201-571-8.

[7] Николов Л. Анализ на уязвимостта на безжична компютърна мрежа, защитена с криптографски протокол WPA2. Proceedings of the XXVI International Scientific Conference Trans&Motauto, Burgas, 2018, Vol. 2, pp. 252–253, ISSN 1313-5031 (Print), ISSN 2535-0307 (Online).

[8] Стоицов, Г. Информационна и комуникационна сигурност. ПУ „Паисий Хилендарски“, Пловдив, 2020.

[9] Симеонова И. Дефиниране на информационната сигурност като основен канал на административната сигурност. Научна конференция с международно участие MATTEX 2022, Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 13–14 май 2022.

[10] Стоянова, В. Облачни технологии в образованието. Сборник научни трудове на факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ на НВУ „Васил Левски“, Шумен, 2011, с. 76–82. ISSN 1313-7433.

[11] Tasinov, T. Y., Toncheva, S. K. Anticipatory Technological Preparation and Digital Health Competencies in Nursing and Midwifery Education. In: Conference Proceedings, XIX National Forum of Health Care Specialists and Poster Session for Students „Fair Access to Quality Health Care“, Shumen, 24–25 October 2025, pp. 97–103.

[12] Тахиров М., Симеонова И. Защита на административните процеси от външни и вътрешни заплахи. Научна конференция на НВУ „Васил Левски“, Велико Търново, 12–14 ноември 2025.

[13] Arabadzhieva-Kalcheva N., Tsankov Ts., Todorova M., Marinova G. Application of Failure Mode and Effects Analysis for Evaluating Human Reliability. Scientific Conference with International Participation MATTEH 2024, Conference Proceedings, Vol. 2, Shumen, 2024, ISSN 1314-3921, pp. 147–152. https://doi.org/10.46687/BOIK9859

[14] Arabadzhieva-Kalcheva N., Tsankov Ts., Todorova M. Cause-Consequence Analysis as a Risk Management Method. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Vol. XIV E, Faculty of Technical Sciences, 2024, ISSN 1314-8818, pp. 184–188. https://doi.org/10.46687/YT24NEL

[15] Denev, D., Konstantinova, E. Main Issues in the Protection of Information in the System of National and Corporate Security. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation MATTEH 2020, Vol. 2, Communication and Computer Technologies, Shumen, 2020.

[16] Denev, D. Surveillance with Wireshark and its Use in Communication Networks. Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIII E, 2023, pp. 104–109, ISSN 1314-8818.

[17] Iliev, D., Denev, D. Computer Security and Traffic Management in Communication Networks. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation MATTEH 2024, Vol. 2, Communication and Computer Technologies, Shumen, 2024, pp. 161–169, ISSN 1314-3921.

[18] Nikolov, L., Slavyanov, K. On the Contemporary Cybersecurity Threats. Proceedings of the First International Scientific Conference CONFSEC 2017, Borovets, 11–14 December 2017, pp. 142–144, ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

[19] Simeonova, I., Metodieva, Ts. Model for administrative security management in a municipality. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 26, 2024, pp. 93–105, ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online).

[20] Todorova-Lazarova, V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

VIDEO DATA PROTECTION IN DIGITAL AND INTELLIGENT VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS: TECHNICAL RISKS AND MEASURES*

DEYAN P. IVANOV, DONIKA V. DIMANOVA

ABSTRACT: *Modern digital and intelligent video surveillance systems process significant volumes of video data and increasingly rely on network connectivity, cloud services, and algorithms for automated analysis. These capabilities enhance the effectiveness of surveillance, but at the same time create additional risks to the confidentiality, integrity, and control of personal data. This paper examines the main technical risks arising throughout the lifecycle of video data, including their collection, transmission, storage, processing, and access. Key security measures are analyzed, including encryption, access control, authentication, logging, and monitoring, as well as the specific characteristics of local and cloud storage. Particular attention is also given to intelligent video surveillance systems that use artificial intelligence and automated video analysis, which expand data-processing capabilities but require a higher level of personal data protection. On this basis, technical guidelines are formulated to mitigate risks and enhance the security of video data.*

KEYWORDS: *video data, video surveillance, information security, encryption, access control, cloud storage, artificial intelligence, personal data protection*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26DPI

ЗАЩИТА НА ВИДЕОДАННИТЕ В ЦИФРОВИ И ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ ЗА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ: ТЕХНИЧЕСКИ РИСКОВЕ И МЕРКИ

ДЕЯН П. ИВАНОВ, ДОНИКА В. ДИМАНОВА

АБСТРАКТ: *Съвременните цифрови и интелигентни системи за видеонаблюдение обработват значителни обеми видеоданни и все по-често използват мрежова свързаност, облачни услуги и алгоритми за автоматизиран анализ. Тези възможности повишават ефективността на наблюдението, но едновременно с това създават допълнителни рискове за конфиденциалността, целостта и контрола върху личните данни. Настоящият доклад разглежда основните технически рискове, възникващи в жизнения цикъл на видеоданните – при тяхното събиране, предаване, съхранение, обработка и достъп. Анализирани са основни мерки за защита, включително криптиране, контрол на достъпа, автентикация, логване и мониторинг, както и особеностите при локално и облачно съхранение. Отделено е внимание и на интелигентните системи за видеонаблюдение, използващи изкуствен интелект и автоматизиран видеоанализ, които разширяват възможностите за обработка, но изискват по-високо ниво на защита на личната информация. На тази основа са формулирани технически насоки за ограничаване на риска и повишаване на сигурността на видеоданните.*

1 Въведение

Развитието на цифровите и IP базираните системи за видеонаблюдение значително променя начина, по който се събират, предават, съхраняват и анализират видеоданни. За разлика от традиционните аналогови решения, съвременните системи използват мрежова инфраструктура, цифрови видеорекордери, облачни платформи и софтуер за автоматизиран

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

анализ, което създава възможности за по-висока резолюция, дистанционен достъп, мащабируемост и интеграция с други системи за сигурност.

Технологичното развитие обаче увеличава и броя на потенциалните точки на уязвимост. IP камерите функционират като мрежови устройства и могат да бъдат изложени на неоторизиран достъп, неправилна конфигурация, прихващане на видеопотока или компрометиране на съхраняваните записи. Използването на облачна инфраструктура и дистанционен достъп допълнително разширява средата, в която трябва да бъде гарантирана защитата на видеоданните. Сигурността на интелигентните структури в Интернет на нещата е разгледана в [2]. Съвременните киберзаплахи са разгледани в [9], а оценяването на уязвимостите на безжични мрежи в [17].

Особено значение има разглеждането на видеоданните през целия им жизнен цикъл. Сигурността трябва да бъде осигурена още при събирането на информацията, да се поддържа по време на нейното предаване и съхранение и да включва подходящ контрол при последващ достъп, обработка, анализ и изтриване. В този контекст защитата на видеоданните не може да се ограничи до използването на единична техническа мярка, а изисква съчетаване на криптографски механизми, контрол на достъпа, автентикация, проследимост и мониторинг [1, 3].

Криптирането е основна мярка за защита както на данните в транзит, така и на съхраняваните видеозаписи. При мрежово предаване могат да се използват защитени комуникационни протоколи, а при съхранение – криптографски алгоритми, които ограничават възможността за използване на информацията при неоторизиран физически или логически достъп.

Друг съществен компонент е управлението на достъпа. Потребителските профили, диференцираните права, многофакторната автентикация и принципът на най-малките привилегии създават условия различните категории потребители да имат достъп единствено до необходимите им функции и видеоданни. Системното логване на входове, прегледи, експортиране и промени в конфигурацията допълва тази защита чрез осигуряване на проследимост и възможност за последващ анализ на действията [4].

С навлизането на изкуствения интелект и машинното обучение видеонаблюдението все по-често включва автоматично разпознаване на обекти и лица, поведенчески анализ, откриване на аномалии и обработка на информация в реално време. Тези технологии могат да подобрят ефективността на системите, но разширяват и обема и характера на извличаната информация, което увеличава необходимостта от контрол върху начина, по който данните се обработват, комбинират и използват [7].

Целта на настоящия доклад е да се анализират основните технически рискове за видеоданните в цифрови и интелигентни системи за видеонаблюдение и да се систематизират подходящи мерки за тяхното ограничаване.

За постигането на тази цел са използвани методите на анализ, сравнение и систематизация на технически и нормативни източници, като вниманието е насочено към жизнения цикъл на видеоданните и към основните механизми за осигуряване на конфиденциалност, целостност, контрол на достъпа и проследимост.

2 Жизнен цикъл на видеоданните и рискове за сигурността

Защитата на видеоданните следва да се разглежда през целия им жизнен цикъл, тъй като рисковете възникват още при събирането на информацията и продължават при нейното предаване, съхранение, обработка, достъп и изтриване. При цифровите и IP базираните

системи отделните етапи са технологично свързани и компрометирането на един от тях може да повлияе върху сигурността на целия информационен поток.

2.1. Събиране на видеоданни

Началният етап е свързан с определяне на обхвата на наблюдението и конфигуриране на камерите. Параметри като резолюция, честота на кадрите, ъгъл на видимост, чувствителност към движение и наблюдавани зони влияят пряко върху количеството и характера на събираната информация. Неправилната конфигурация може да доведе до заснемане на нерелевантни пространства, прекомерно събиране на данни или неоторизиран достъп до видеопотока.

2.2. Предаване на видеоданни

При IP базираните системи видеоданните се предават през локални или външни мрежи. Това създава рискове от прихващане, подмяна или неоторизиран достъп, особено при дистанционно управление, облачни услуги и комуникация през публични мрежи. Поради това защитата на комуникационния канал представлява ключов елемент от сигурността на видеоданните.

2.3. Съхранение на видеозаписи

Съхранението може да бъде локално, облачно или хибридно. Всеки от тези модели създава различен профил на риск, свързан с физическа загуба или повреда, неоторизиран достъп, зависимост от външен доставчик, ограничен капацитет или прекомерно дълго съхранение на информацията. Изборът на модел следва да бъде съобразен както с техническите характеристики на системата, така и с изискванията за защита на данните.

2.4. Обработка и анализ

Съвременните системи все по-често използват автоматизиран видеоанализ, машинно обучение и изкуствен интелект за разпознаване на лица и обекти, регистрационни номера и поведенчески модели. Тези технологии повишават аналитичните възможности, но разширяват и обема на извличаната информация и могат да създадат риск от прекомерна обработка, профилиране или използване на данните извън първоначално определената цел.

2.5. Достъп до видеоданните

Достъпът до видеопотока, архивите и системната конфигурация представлява критична точка от жизнения цикъл. Недостатъчно разграничените потребителски права, общите профили и слабите механизми за удостоверяване могат да доведат до неоторизирано преглеждане, копиране, промяна или изтриване на записи.

2.6. Мониторинг и изтриване

Последният етап включва проследяване на действията в системата и контролирано приключване на жизнения цикъл на данните. Липсата на достатъчна проследимост затруднява установяването на неправомерни действия, а ненужно продължителното съхранение увеличава обема на информацията, която може да бъде засегната при пробив в сигурността.

В обобщение, жизненият цикъл на видеоданните включва взаимосвързани етапи с различни характеристики и рискове. Ефективната защита изисква тези рискове да бъдат оценявани комплексно, а конкретните технически мерки за тяхното ограничаване да бъдат прилагани последователно при предаването, съхранението, достъпа и обработката на информацията.

3 Криптиране и сигурно съхранение

Криптирането е основен технически механизъм за защита на видеоданните както при тяхното предаване, така и при съхранение. При цифровите и IP базираните системи видеопотокът често преминава през локални мрежи, интернет връзки или облачни услуги, което създава риск от прихващане, неоторизиран достъп или компрометиране на съдържанието. Поради това защитата на видеоданните следва да включва едновременно криптиране на комуникационния канал и на съхраняваните записи [1, 3].

3.1. Криптиране на данни при предаване

При предаване на видеоданни през мрежа е необходимо използването на защитени комуникационни протоколи, които ограничават възможността за прихващане на информацията. Като подходящи решения могат да се използват HTTPS/TLS за защита на преноса и AES за защита на съхраняваните видеоданни. В някои комерсиални решения се прилагат HTTPS/TLS за защита на предаването и AES за криптиране на съхраняваните видеоданни [6].

Използването на криптиран транспорт е особено важно при дистанционен достъп и при системи, които изпращат видеопоток към външни или облачни инфраструктури. В такива случаи липсата на защита на комуникационния канал може да създаде предпоставки за прихващане на видеоданни или компрометиране на сесиите. Забавянето при криптиране и декриптиране на глас през VPN мрежа е разгледано в [8] като отделен пример за влиянието на защитата върху комуникацията.

Защитата при пренос следва да бъде разглеждана и във връзка с удостоверяването на участващите устройства и потребители. Криптираната връзка ограничава риска от неоторизирано наблюдение на трафика, но не може да замести необходимостта от надежден контрол на достъпа и правилна конфигурация на крайните устройства.

3.2. Криптиране на съхраняваните видеоданни

Криптирането на съхраняваните видеозаписи е необходимо за ограничаване на риска при физически или логически достъп до устройствата за съхранение. Това е особено важно при DVR/NVR системи, NAS устройства и облачни платформи, където значителни обеми видеоданни могат да бъдат концентрирани в едно хранилище.

Сред приложимите алгоритми за защита на съхраняваните видеоданни са AES-128 и AES-256, като TLS може да се използва за защита на преноса. Този подход позволява защитата да бъде разпределена между различните етапи на жизнения цикъл на информацията.

При локално съхранение криптирането намалява риска от неоторизирано използване на записите при кражба или физически достъп до носителя.

3.3. Локално, облачно и хибридно съхранение

Локалното съхранение чрез DVR/NVR, твърди дискове или NAS осигурява висока степен на контрол върху данните и позволява работа независимо от постоянна интернет връзка. Неговите основни рискове са свързани с физическа повреда, кражба, ограничен капацитет и необходимост от собствена поддръжка.

Облачните платформи за видеонаблюдение предоставят възможности за централизирано управление, дистанционен достъп и мащабируемо съхранение, като конкретните механизми за защита зависят от архитектурата и услугите на съответния доставчик [5].

Хибридният модел комбинира локално и облачно съхранение и може да предостави по-гъвкав баланс между контрол, достъпност и резервираност. Независимо от избрания

модел, ефективната защита изисква ясно определени правила за достъп, криптиране, резервиране и срокове за съхранение.

3.4. Срокове за съхранение и сигурно изтриване

Сигурното съхранение не се ограничава до защита на данните по време на тяхното използване. Необходимо е да бъде определен и ясен жизнен цикъл на записите, включително моментът на тяхното изтриване.

Продължителното съхранение на видеоматериали без конкретна необходимост увеличава както техническия риск, така и обема на информацията, която може да бъде засегната при евентуален пробив. Поради това системите следва да поддържат автоматизирани механизми за изтриване след изтичане на предварително определен срок, както и възможност за документиране на тези действия [1, 3].

Когато определени записи трябва да бъдат запазени за по-дълъг период поради конкретен инцидент или друга обоснована необходимост, те следва да бъдат отделени от текущия архив и защитени чрез същите или по-високи механизми за криптиране и контрол на достъпа.

В обобщение, сигурното съхранение на видеоданни изисква съчетаване на криптиране при пренос и съхранение, подходящ избор между локален, облачен или хибриден модел, ясно определени срокове за съхранение и контролирано изтриване. Тези мерки ограничават риска от неоторизиран достъп и подпомагат защитата на данните през целия им жизнен цикъл.

4 Контрол на достъпа и отчетност

Контролът на достъпа е основен елемент от защитата на видеоданните, тъй като ограничава възможността за преглед, обработка, експортиране или промяна на записи само до упълномощени лица. При цифровите и IP базираните системи тази защита следва да обхваща както потребителите, така и устройствата, чрез които се осъществява достъп до системата.

4.1. Автентикация и оторизация

Автентикацията е първият етап от контрола на достъпа и има за цел да установи самоличността на потребителя или устройството. Използването само на потребителско име и парола създава ограничена степен на защита, особено при слаби или повторно използвани пароли. Поради това при системи с повишен риск е препоръчително използването на многофакторна автентикация (MFA), при която достъпът се потвърждава чрез повече от един независим фактор.

След успешна автентикация се прилага авторизация, чрез която се определят конкретните действия, които даден потребител може да извършва. Един от широко използваните подходи е ролевото управление на достъпа (Role-Based Access Control – RBAC), при което правата се предоставят в зависимост от служебната роля. Така например операторът може да има право само да наблюдава видеопотока и архивните записи, докато административните функции за конфигуриране, изтриване или промяна на системните настройки остават ограничени до определени потребители.

Подобен подход съответства на принципа на най-малките привилегии, според който всеки потребител следва да разполага само с правата, необходими за изпълнение на конкретните му функции. При по-сложни системи може да се използва и Attribute-Based Access Control (ABAC), при който правата зависят допълнително от характеристики като време, местоположение или тип устройство.

4.2. Разграничаване на потребителските права

Диференцирането на потребителските права е особено важно при видеонаблюдение, тъй като различните действия върху записите имат различна степен на чувствителност. Прегледът на живо, достъпът до архив, експортирането на видеоматериал, промяната на конфигурацията и изтриването на записи не следва автоматично да бъдат достъпни за всички потребители.

За ограничаване на риска е необходимо да бъдат създадени ясно разграничени роли и права, които се администрират централизирано. При интеграция с корпоративни среди могат да бъдат използвани директории като LDAP или Active Directory, което позволява съгласуване на достъпа до видеосистемата с общите политики за сигурност на организацията.

Периодичният преглед на потребителските профили също има важно значение. Неактивни или вече ненужни акаунти следва да бъдат деактивирани, а предоставените права да се актуализират при промяна на длъжността или отговорностите на потребителя.

4.3. Логване и проследимост

Контролът на достъпа трябва да бъде допълнен от механизми за регистриране и проследяване на действията в системата. Логовете позволяват да се установи кой потребител е получил достъп, кога е осъществено това, какви действия са предприети и дали са извършени промени в конфигурацията или видеозаписите.

Сред съществените събития, които следва да бъдат регистрирани, са успешни и неуспешни опити за вход, промени на настройки, преглед и експортиране на записи, изтриване на данни и други действия с повишена чувствителност. Подобна проследимост подпомага както своевременното откриване на подозрителна активност, така и последващия анализ при възникване на инцидент [4].

Централизираното събиране и анализ на логове може допълнително да подобри защитата чрез автоматично откриване на нетипично поведение, множество неуспешни опити за достъп или необичайно изтегляне на записи. Това позволява системата да изпълнява не само доказателствена, но и превантивна функция. Наблюдението на комуникационни мрежи с Wireshark е разгледано в [11], а компютърната сигурност и управлението на трафика в [13].

4.4. Отчетност и възможност за одит

Отчетността предполага организацията да може да докаже не само наличието на технически мерки, но и тяхното реално прилагане. В този смисъл логовете, регистрите за достъп, вътрешните правила и разпределението на потребителските права представляват важна част от доказуемата проследимост на операциите.

Периодичните проверки на потребителските права и на регистрираните действия позволяват да бъдат идентифицирани несъответствия, прекомерно предоставени права или неправомерни действия. Този подход подпомага вътрешния одит и създава условия за своевременно коригиране на установени слабости. За обработка и анализ на таблични отчети е относимо разгледаното приложение на динамични масиви в MS Excel [16].

Отчетността е особено важна при системи, в които се обработват чувствителни видеоданни или се използват функции за биометрично разпознаване и автоматизиран анализ. В такива случаи възможността да се проследи всяко действие върху данните е съществен елемент от защитата и от управлението на риска [1, 3].

В обобщение, ефективният контрол на достъпа изисква съчетаване на надеждна автентикация, ясно разграничени права, принцип на най-малките привилегии, системно логване и периодичен одит. Тези механизми не само ограничават риска от неоторизиран достъп, но и осигуряват необходимата проследимост и отчетност при управлението на видеоданните.

5 Интелигентен видеоанализ и възникващи рискове за неприкосновеността на личния живот

Интегрирането на изкуствен интелект и машинно обучение в системите за видеонаблюдение значително разширява възможностите за автоматизирана обработка на видеоданни. Съвременните решения могат да извършват разпознаване и класифициране на обекти, лицево разпознаване, идентифициране на регистрационни номера, проследяване на движение и анализ на поведенчески модели. По този начин видеонаблюдението постепенно преминава от пасивно записване към автоматизирано извличане и интерпретация на информация. Развитието на изкуствения интелект и приложенията му в съвременния свят са разгледани в [10].

5.1. Автоматизиран видеоанализ

Интелигентният видеоанализ позволява обработването на значителни обеми видеоданни в реално време и автоматичното откриване на събития, които биха изисквали продължително наблюдение от оператор. Сред основните приложения са детекция на движение, проследяване на обекти, разпознаване на лица и превозни средства, поведенчески анализ и идентифициране на нетипични ситуации.

Използването на подобни технологии създава възможности за по-бърза реакция при инциденти и за автоматизирано филтриране на значими събития. В същото време обаче количеството информация, която може да бъде извлечена от един видеозапис, се увеличава. Данните вече не се ограничават само до визуално изображение, а могат да бъдат преобразувани в структурирана информация за идентичност, движение, поведение или присъствие в определено пространство.

5.2. Разпознаване на лица и биометрична обработка

Особено чувствителна област е използването на лицево разпознаване за уникална идентификация на физически лица, тъй като в този случай се обработват биометрични данни и възниква повишен риск за правата и свободите на наблюдаваните лица [1, 3].

От техническа гледна точка системите за биометрично разпознаване изискват особено строг контрол върху достъпа до шаблоните и резултатите от анализа, както и върху начина, по който тези данни се съхраняват, комбинират и впоследствие използват. Когато резултатите се използват за автоматизирано вземане на решения, е относимо разгледаното третиране на тези решения според GDPR [15].

5.3. Профилиране и анализ на поведението

Поведенческият анализ позволява системите да идентифицират модели като продължителен престой, движение в определена посока, струпване на хора или отклонения от предварително зададено поведение. Подобни функции могат да подпомогнат сигурността, но създават риск видеоданните да бъдат използвани за по-широко профилиране от първоначално определената цел на наблюдението.

Този риск нараства при комбиниране на видеоданни с други информационни източници или при автоматично създаване на поведенчески характеристики. Затова интелигентният анализ следва да бъде ограничен до ясно дефинирани функции и до

информацията, действително необходима за конкретната цел. Принципите за минимизация и ограничение на целите остават приложими независимо от технологичната сложност на системата [1, 3].

5.4. Облачна и периферна обработка с изкуствен интелект

Интелигентният анализ може да бъде осъществяван както централизирано, така и на периферните устройства. При облачните решения видеоданните или резултатите от анализа се предават към външна инфраструктура, което създава допълнителни изисквания към защитата при трансфер, контрола на достъпа и съхранението.

Edge AI решенията позволяват част от обработката да се извършва непосредствено в камерата или в периферно устройство. Това може да намали необходимостта от постоянно предаване на целия видеопоток към централен сървър и да ускори реакцията на системата. И двата подхода намират приложение в съвременните интелигентни системи за видеонаблюдение.

Независимо от архитектурата, защитата следва да обхваща както първичния видеопоток, така и вторично генерираните данни – метаданни, идентификационни резултати, класификации и алармени събития.

5.5. Възникващи рискове за неприкосновеността на личния живот

Автоматизираният анализ увеличава не само функционалността, но и потенциалния риск за личната неприкосновеност. Системите могат да обработват по-голям обем информация, да извличат допълнителни характеристики и да създават връзки, които не са очевидни от първоначалния видеозапис. Подобна тенденция се наблюдава и при други AI-базирани системи, където разширяването на аналитичните възможности може да създаде нови рискове, свързани с чувствителни данни, прекомерна обработка и недостатъчен контрол върху информацията [7]. Техническите рискове за неприкосновеността при генеративния изкуствен интелект са разгледани отделно в [14].

В този контекст принципите Privacy by Design и Privacy by Default придобиват особено значение. Защитата на личните данни трябва да бъде включена още при проектирането на системата чрез ограничаване на събираните данни, контрол върху аналитичните функции, диференциран достъп до резултатите, подходящо криптиране и проследимост на автоматизираните операции [1, 3].

При внедряване на интелигентни видеосистеми е необходимо да се оценява не само техническата им ефективност, но и характерът на информацията, която могат да извличат. Колкото по-голяма е степента на автоматизация и възможността за идентификация или поведенчески анализ, толкова по-голяма е необходимостта от ясни ограничения, контрол и периодична оценка на риска. Анализът на причините и последствията като метод за управление на риска е разгледан в [12].

В обобщение, интелигентният видеоанализ създава значителни възможности за повишаване на ефективността на видеонаблюдението, но променя и характера на рисковете за личните данни. Ефективната защита изисква техническите механизми за AI анализ да бъдат съчетани с минимизация на данните, строг контрол на достъпа, прозрачност, проследимост и предварително управление на риска.

6 Препоръки

Анализът на техническите рискове показва, че защитата на видеоданните не следва да се основава на единични механизми, а на последователно прилагане на взаимно допълващи се мерки през целия жизнен цикъл на информацията. Ефективната защита изисква още при

проектирането на системата да бъдат определени подходящи механизми за криптиране, контрол на достъпа, проследимост, съхранение и изтриване на данните.

На първо място, видеоданните следва да бъдат защитени както при предаване, така и при съхранение. Използването на защитени комуникационни протоколи и криптиране на архивите ограничава риска от прихващане и неоторизиран достъп. При облачни и хибридни решения е необходимо допълнително да се оценяват механизмите за защита, предлагани от външния доставчик, както и условията за достъп, резервиране и изтриване на данните [1, 3].

Контролът на достъпа следва да бъде организиран чрез индивидуални потребителски профили, надеждна автентикация и ясно разграничени права. При системи с дистанционен достъп или повишен риск е препоръчително използването на многофакторна автентикация, както и периодичен преглед на активните профили и предоставените разрешения. Правата за преглед, експортиране, конфигуриране и изтриване на записи не следва да бъдат предоставяни по подразбиране на всички потребители.

Системното логване на действията е друга необходима мярка. Регистрирането на достъпи, промени в конфигурацията, експортиране и изтриване на записи създава необходимата проследимост и подпомага анализа при инциденти. Периодичният преглед на логовете може да бъде използван и като превантивен механизъм за установяване на необичайна активност или опити за злоупотреба [4].

При интелигентни системи за видеонаблюдение е необходимо техническите възможности за автоматизиран анализ да бъдат ограничени до ясно определени функции и цели. Особено внимание следва да се отделя на лицевото разпознаване, поведенческия анализ и комбинирането на видеоданни с други информационни източници. В тези случаи прилагането на принципите Privacy by Design и Privacy by Default, както и предварителната оценка на риска, имат ключово значение за ограничаване на прекомерната обработка и на неоторизираното използване на чувствителна информация [1, 3, 14].

Необходимо е също да бъдат определени ясни срокове за съхранение и механизми за автоматизирано изтриване на записите. Натрупването на видеоданни извън необходимия период увеличава потенциалните последствия при компрометиране на системата и затруднява управлението на информацията.

7 Заключение

Развитието на цифровите и интелигентните системи за видеонаблюдение значително разширява възможностите за събиране, обработка и анализ на видеоданни, но едновременно с това увеличава изискванията към тяхната сигурност. Защитата на информацията следва да се разглежда като непрекъснат процес, който обхваща всички етапи от жизнения цикъл на видеоданните – от тяхното събиране и предаване до съхранението, достъпа, анализа и изтриването.

Анализът показва, че основните технически рискове са свързани с неоторизиран достъп, прихващане на мрежовия трафик, компрометиране на съхраняваните записи, недостатъчен контрол върху потребителските права и ограничена проследимост на действията в системата. При интелигентните решения допълнителни рискове възникват от автоматизираното извличане на информация, лицевото разпознаване, поведенческия анализ и възможността за комбиниране на видеоданни с други информационни източници.

Ефективната защита изисква съчетаване на криптиране при предаване и съхранение, надеждна автентикация, диференциран контрол на достъпа, системно логване и периодичен преглед на действията и потребителските права. Необходимо е също да бъдат прилагани ясни правила за сроковете на съхранение и контролирано изтриване на записите, така че да се ограничи ненужното натрупване на чувствителна информация.

Особено значение придобива интегрирането на защитата още на етапа на проектиране на системите. Прилагането на принципите Privacy by Design и Privacy by Default създава възможност рисковете да бъдат ограничени предварително, вместо мерките за защита да бъдат добавяни едва след възникване на проблеми.

В обобщение, сигурността на видеоданните в съвременните системи за видеонаблюдение зависи не от единична технология, а от цялостна архитектура за защита, която съчетава технически контрол, проследимост и управление на риска. Подобен подход позволява да се използват възможностите на цифровите и интелигентните видеосистеми, като едновременно с това се ограничава рискът за конфиденциалността, целостта и неприкосновеността на обработваната информация.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Регламент (ЕС) 2016/679 на Европейския парламент и на Съвета от 27 април 2016 г. относно защитата на физическите лица във връзка с обработването на лични данни и относно свободното движение на такива данни (GDPR).

[2] Стоянова, В. Интернет на нещата – анализ на сигурността при интелигентни структури. II International Scientific Conference CONFSEC, Borovets, 2018, Year 2, Issue 2 (4). ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

[3] European Data Protection Board. Guidelines 3/2019 on Processing of Personal Data through Video Devices, Version 2.0, 2020.

[4] Комисия за защита на личните данни. Добри практики от надзорната дейност на КЗЛД.

[5] Върбанова, Г. Значение на електронните доказателства в контекста на киберсигурността и националната сигурност. Варна: ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, 2024. ISBN 978-619-93016-0-9.

[6] AxxonSoft. Video Surveillance as a Service (VSaaS) Platform / Cloud Solutions.

[7] Anviz. Smart AI Surveillance / CCTV Solutions.

[8] Denev, D. Analytical study of the delay introduced as a result of encryption/decryption of voice transmitted over a VPN network. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 20, 2021, pp. 80–85, ISSN 1314-6289.

[9] Nikolov, L., Slavyanov, K. On the Contemporary Cybersecurity Threats. Proceedings of the First International Scientific Conference CONFSEC 2017, Borovets, 11–14 December 2017, pp. 142–144, ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

[10] Dimitrova, E., Denev, D. The Development of Artificial Intelligence and its Applications in the Modern World. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation MATTEH 2024, Vol. 2, Communication and Computer Technologies, Shumen, 2024, pp. 153–160, ISSN 1314-3921.

[11] Denev, D. Surveillance with Wireshark and its Use in Communication Networks. Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIII E, 2023, pp. 104–109, ISSN 1314-8818.

[12] Arabadzhieva-Kalcheva N., Tsankov Ts., Todorova M. Cause-Consequence Analysis as a Risk Management Method. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Vol. XIV E, Faculty of Technical Sciences, 2024, ISSN 1314-8818, pp. 184–188. https://doi.org/10.46687/YT24NEL

[13] Iliev, D., Denev, D. Computer Security and Traffic Management in Communication Networks. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation MATTEH 2024, Vol. 2, Communication and Computer Technologies, Shumen, 2024, pp. 161–169, ISSN 1314-3921.

[14] Kuzmanova, E., Dimanova, D. Technical Privacy Risks in Generative AI (GenAI) – Lessons from OWASP and Real-World Failures. 10th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE 2025), 5–7 November 2025, Starozagorski Bani, Bulgaria. IEEE. DOI: 10.1109/EEAE65901.2025.11273791.

[15] Simeonova I. How GDPR treats automated decision-making. Journal Scientific and Applied Research, Konstantin Preslavsky University Press, 2025, ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online), pp. 164–175. https://doi.org/10.46687/jsar.v29i1.461

[16] Todorova-Lazarova, V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

[17] Nikolov, L. G. Wireless Network Vulnerabilities Estimation. Security & Future, Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 80–82, ISSN 2535-0668 (Print), ISSN 2535-082X (Online).

THE MILITARY CONFLICT BETWEEN THE UNITED STATES AND IRAN AND ITS IMPACT ON THE NATIONAL SECURITY OF THE REPUBLIC OF BULGARIA*

ILIANA K. SIMEONOVA, SEDEF SH. NEDZHMEDIN, DERIYA M. ARIF

ABSTRACT: *This report examines the impact of the current military conflict between the United States (United States) and the Islamic Republic of Iran on Bulgaria's national security. This conflict, which also includes regional allies, has the potential to affect a number of aspects of the country's security, from military risks to economic and social consequences. The analysis aims to outline specific channels of influence and formulate recommendations for addressing the challenges.*

KEYWORDS: *national security, international conflicts, US; Iran, Bulgaria, geopolitics, energy security, hybrid threats, migration, strategic stability*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26IKS

ВОЕННИЯТ КОНФЛИКТ МЕЖДУ САЩ И ИРАН И НЕГОВОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ НАЦИОНАЛНАТА СИГУРНОСТ НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

ИЛИАНА К. СИМЕОНОВА, СЕДЕФ Ш. НЕДЖМЕДИН, ДЕРИЯ М. АРИФ

АБСТРАКТ: *Този доклад разглежда въздействието на настоящия военен конфликт между Съединените щати (САЩ) и Ислямска република Иран върху националната сигурност на България. Този конфликт, който включва и регионални съюзници, има потенциала да засегне редица аспекти на сигурността на страната – от военни рискове до икономически и социални последици. Анализът цели да очертае конкретните канали на влияние и да формулира препоръки за справяне с предизвикателствата.*

1 Въведение

Съвременната международна среда за сигурност се характеризира с нарастваща нестабилност, регионални конфликти и засилено противопоставяне между водещи глобални и регионални сили. Военният конфликт между САЩ и Иран представлява един от най-сериозните рискови фактори за глобалната и регионалната сигурност. Макар България да не е пряка страна по конфликта, неговите последици имат потенциал да окажат съществено влияние върху националната ѝ сигурност чрез политически, икономически, военни и социални канали.

В този контекст анализът на въздействието на конфликта върху България е от особена важност, тъй като страната е член на Европейски съюз и НАТО, което я поставя в позиция на индиректно засегнат субект от всяка ескалация на напрежението между глобални сили.

Изследването на въздействието на конфликта между САЩ и Иран върху националната сигурност на България е необходимо поради няколко ключови причини:
На първо място, националната сигурност не се свежда единствено до военна защита на територията, а включва икономическа стабилност, енергийна сигурност, обществен ред,

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

киберсигурност и информационна устойчивост. Конфликтът в Близкия изток засяга именно тези сфери чрез повишаване на цените на енергийните ресурси, нарушаване на търговски маршрути и засилване на глобалната несигурност.

На второ място, България като съюзник в НАТО има ангажименти по колективната отбрана. Възможна е ситуация, при която страната да бъде въвлечена индиректно чрез политически, логистични или военни задължения, което изисква предварителен анализ и стратегическа подготовка.

На трето място, конфликтът създава предпоставки за увеличен миграционен натиск, радикализация и разпространение на дезинформация, което влияе пряко върху вътрешната стабилност и обществения ред в България.

Следователно темата е значима както от теоретична, така и от практическа гледна точка, тъй като подпомага процеса на вземане на информирани решения в областта на сигурността и външната политика.

Актуалността на темата в международният контекст произтича от продължаващата нестабилност в Близкия изток и от периодичната ескалация на напрежението между САЩ и Иран, свързана с ядрената програма на Иран, икономическите санкции и военните действия в региона. Конфликтът се развива на фона на вече съществуващи кризи – войната в Украйна, напрежението в Източното Средиземноморие и нестабилността в Близкия изток.

В международен план се наблюдава: Засилване на военните приготовления и демонстрации на сила; Активизиране на дипломацията на великите сили; Нарастване на енергийната несигурност; и Увеличен риск от разширяване на конфликта в регионален или глобален мащаб.

Тази сложна международна обстановка превръща конфликта между САЩ и Иран във фактор, който надхвърля рамките на двустранно противопоставяне и се превръща в системен риск за международната сигурност, включително и за държави, географски отдалечени от региона, каквато е България.

Основната цел на доклада е да се анализира въздействието на военния конфликт между САЩ и Иран върху националната сигурност на България, като се идентифицират потенциалните рискове и възможните направления за противодействие.

Как превратът през 1953 г. поставя основите на конфликта между САЩ и Иран?

Конфликтът между Съединените щати и Иран има дълбоки исторически корени, които се формират още през втората половина на XX век.

Един от най-важните исторически моменти, които определят съвременните отношения между Съединени американски щати и Иран, е превратът от 1953 г. срещу иранския министър-председател Мохамед Мосадък. Това събитие поставя началото на дългогодишна враждебност между двете държави и има дългосрочни политически и психологически последици, които до голяма степен формират антиамериканските настроения в иранското общество и политически елит.

През 1951 г. Мосадък става министър-председател на Иран с подкрепата на парламента и широки обществени слоеве. Основната му политическа цел е национализирането на иранската петролна индустрия, която до този момент се контролира основно от британската компания Anglo-Iranian Oil Company. Национализацията има за цел да увеличи икономическата независимост на страната и да осигури по-големи приходи за иранската държава. Решението предизвиква силна реакция от страна на Великобритания, която губи контрола върху стратегическия петролен ресурс. Впоследствие британското

правителство търси подкрепа от САЩ за отстраняването на Мосадък. През 1953 г. разузнавателните служби CIA и MI6 организират тайна операция, известна като 1953 Iranian coup d'état. Чрез политически натиск, медийна пропаганда и подкрепа на военни структури правителството на Мосадък е свалено. След преврата на власт е възстановен шахът Мохамед Реза Пахлави, който управлява страната като авторитарен монарх до 1979 г. Неговото управление е тясно свързано със САЩ и западните държави, което допълнително засилва недоволството сред голяма част от иранското население. Въпреки икономическата модернизация, управлението на шаха е критикувано за политически репресии, корупция и зависимост от западни сили. Натрупаното обществено недоволство в крайна сметка води до Иранската революция, която сваля монархията. През 1979г. Мохамед Реза Пахлави е свален от власт и напуска страната като отива в изгнание. Монархията е премахната.

След Ислямската революция през 1979 г., е създадена Ислямска Република Иран под управлението на аятолах Хомейни, отношенията окончателно се обтягат. Вземането на американски заложници в Техеран (1979–1981) и провеждането на икономически санкции към Иран създават трайна враждебна рамка. През следващите десетилетия ескалацията продължава: САЩ подкрепят Ирак по време на Иран–Ирак войната (1980–1988), а последващите санкции върху иранската ядрена програма и военни инциденти в Персийския залив поддържат напрежението на високо ниво.

Аятолах Хомейни остава на власт до смъртта си през 1989г. Новото революционно правителство възприема САЩ като основен политически противник, обвинявайки ги за намесата във вътрешните работи на Иран и за подкрепата на режима на шаха. Следващият, който идва на власт през 1989 е Али Хаменей върховен лидер избран от духовния орган след смъртта на Хомейни.

В резултат на тези исторически събития отношенията между САЩ и Иран се превръщат в дългосрочен конфликт, който включва политическо противопоставяне, икономически санкции и периодични военни напрежения. Превратът от 1953 г. остава ключов символ на външна намеса в иранската политика и продължава да влияе върху възприятията и политическите решения на иранското ръководство и до днес.

Основните причини за ескалацията на напрежението между САЩ и Иран се дължи на няколко взаимосвързани фактора.

На първо място – **Ядрената програма на Иран и конфликта със САЩ.**

Ядрената програма на Иран е основен фактор за напрежението със Съединени американски щати. Започнала като мирна инициатива за производство на енергия, тя бързо се превръща в предмет на международни опасения поради възможността за разработване на ядрено оръжие. САЩ и техните съюзници твърдят, че иранската програма заплашва регионалната сигурност и може да наруши стратегическия баланс на силите в Близкия изток.

В отговор на тази програма САЩ и ЕС налагат редица икономически и финансови санкции, които имат сериозни последици върху иранската икономика. Санкциите включват ограничения върху износа на нефт и газ, забрана на достъп до международните финансови пазари и ограничаване на технологични доставки. Това води до засилване на недоволството в Иран срещу САЩ и Европа и създава основа за антиамериканска политика, която е трайна и структурна част от външната политика на страната.

От гледна точка на България, конфликти около иранската ядрена програма оказват пряко влияние върху енергийната сигурност. България внася част от енергийните си ресурси от доставчици, свързани с регионите на Близкия изток, и всяко обостряне на напрежението води до рязко покачване на цените на петрол и газ на международните

пазари. Това подчертава необходимостта от диверсификация на енергийните доставки и стратегическо планиране на националната енергийна сигурност.

На второ място - **Ролята на Израел в напрежението между САЩ и Иран.**

Израел играе ключова роля в геополитическото напрежение между САЩ и Иран. Иранската риторика срещу Израел, включително подкрепата на различни регионални групировки, възприема се от Вашингтон като заплаха за стратегическите интереси на САЩ и техните съюзници. Израел оказва значителен натиск върху американската администрация за въвеждане на строги санкции и дори за потенциални военни действия срещу Иран, особено по отношение на ядрената програма.

За България това напрежение има косвен ефект. Страната, като член на ЕС и НАТО, е част от широката западна политическа и стратегическа среда, която реагира на конфликта. Затова всяко ескалиране на отношенията между Иран и Израел, подкрепяни от САЩ, може да засегне българската национална сигурност чрез увеличаване на енергийните цени, засилена миграционна активност и повишени геополитически

Иран активно разширява политическото и военното си влияние чрез подкрепа на въоръжени групировки в региона, което влиза в конфликт с интересите на САЩ и техните партньори.

На трето място - **Значението на Близкия изток за световната енергийна сигурност.** Близкият изток остава стратегически важен регион за световната енергийна сигурност, като през ключови морски маршрути, включително Ормузкия пролив, преминава около **20% от световния петрол и около 25% от втечнения природен газ**. Конфликтът между Съединени американски щати и Иран увеличава риска от блокиране на тези маршрути, което би имало пряко икономическо и стратегическо въздействие върху страните, зависими от външни енергийни доставки, включително България.

Освен енергийния аспект, конфликтът оказва влияние върху глобалната търговия, финансите и сигурността на международни инвестиции. България като малка и отворена икономика е особено уязвима към рязко поскъпване на енергийните ресурси и инфлационен натиск. Това подчертава необходимостта от национални политики за енергийна диверсификация, стратегически резерви и активно участие в международни механизми за сигурност и координация.

Допълнителен фактор за ескалация е ядрената програма на Иран, която САЩ и техните съюзници разглеждат като заплаха за регионалната и глобалната сигурност. Опитите за дипломатическо уреждане, включително Първото и Второто ядреното споразумение (JCPOA), са белязани от политически компромиси и международни конфликти. Оттеглянето на САЩ от споразумението през 2018 г. и повторното налагане на санкции увеличават риска от нова военна конфронтация. Кибератаките, извършвани от двете страни – например известният вирус Stuxnet, насочен към иранските ядрени съоръжения – показват също новите измерения на конфликта в дигиталното пространство. Тези действия подчертават, че ескалацията не се ограничава до традиционния военен театър, а включва и кибернетична и икономическа война, което увеличава комплексността на заплахата. По-широката проблематика на новите войни на XXI век е разгледана в [3].

Към настоящия момент конфликтът се намира във фаза на периодична ескалация и деескалация, като се наблюдават:

- Военни удари срещу стратегически обекти;
- Морски инциденти в Персийския залив;
- Кибератаки и информационни операции;
- Дипломатически усилия за ограничаване на напрежението.

Въпреки липсата на обявена пълномащабна война, конфликтът има характеристики на т.нар. „сива зона“, при която военните действия са ограничени, но постоянни, а рискът от неконтролируема ескалация остава висок.

Освен основните участници САЩ и Иран, в конфликта участват и редица други международни и регионални страни и организации:

- На първо място, а и по-скоро като основен участник е Израел, който разглежда Иран като основна заплаха за националната си сигурност и подкрепя твърд подход срещу иранската ядрена програма;
- НАТО, чиито държави-членки са ангажирани с политическа и военна подкрепа за САЩ;
- Европейски съюз, който се стреми към дипломатическо разрешаване на конфликта и защита на икономическите си интереси;
- Регионални държави от Близкия изток, които се опитват да балансират между двете страни или участват индиректно чрез военни и политически съюзи.

Геополитическият залог в конфликта включва контрол върху енергийните ресурси, стратегическите морски маршрути и политическото влияние в Близкия изток.

Конфликтът между САЩ и Иран не следва класическия модел на междудържавна война. Той се характеризира с: Използване на прокси-сили; Кибератаки и саботажи; Икономическа война чрез санкции; Информационни операции и пропаганда; Ограничени, но целенасочени военни удари.

Този хибриден характер увеличава неговата непредсказуемост и усложнява международните усилия за контрол и разрешаване.

Хибридните заплахи стават все по-значими в условията на съвременни международни конфликти. Под хибридна война се разбира комплекс от действия, включително кибератаки, дезинформация, манипулиране на общественото мнение, саботаж на инфраструктура и икономическо въздействие, които целят да отслабят противника без директен военен сблъсък.[5]

В контекста на конфликта между САЩ и Иран, подобни операции могат да бъдат насочени към държави-членки на НАТО и ЕС, с цел разширяване на геополитическото влияние или създаване на хаос. България, като държава с интегрирана цифрова и енергийна инфраструктура, може да бъде обект на кибератаки срещу критични системи като електропреносната мрежа, финансовите институции, правителствени бази данни и медийни платформи.

Информационната война може да включва разпространяване на фалшиви новини, манипулиране на общественото мнение и влияния върху политическите решения. Целта е не директна военна агресия, а дестабилизиране на обществото и разколебаване на доверието към институциите. В този смисъл хибридните заплахи имат потенциала да създадат дългосрочни предизвикателства за националната сигурност, които изискват комплексна стратегия за превенция и реакция.

Военният конфликт между САЩ и Иран има пряко и косвено отражение върху сигурността и стабилността на европейския континент. Макар географски отдалечен, конфликтът засяга Европа чрез енергийни, икономически, политически и военностратегически механизми. Европейските държави са тясно обвързани с международните процеси на глобализация и всяка мащабна ескалация в Близкия изток води до системни последици за европейската сигурност.

Конфликтът има потенциал да повлияе на Европа чрез три ключови канала: Първият канал са енергийните рискове. Често напрежението в Близкия изток води до рязък ръст на

цените на петрола и газа, което може да се отрази негативно на европейската икономика. Вторият канал се явяват търговските и транспортни рискове. Затварянето на важни морски маршрути, като Ормузкия пролив, сериозно нарушава глобалните вериги за доставки и търговия. През Ормузкия пролив преминава около 20% от световния петрол, което го прави най-важният енергиен морски „тесен пункт“ (chokepoint) в света. Около 20–21 милиона барела петрол на ден преминават през пролива. Също така през него преминава и голяма част от световния втечнен природен газ (LNG) – приблизително 25% от глобалния трафик на LNG.

Последният трети канал са политическите разделения. Европейските институции изпитват натиск да балансират между подкрепата за трансатлантическите си партньори и необходимостта от автономни мерки за мирно разрешаване на конфликта.

Европейски съюз е силно зависим от стабилността на международните енергийни пазари и от сигурността на ключови транспортни коридори. Близкият изток е сред основните доставчици на петрол и природен газ за Европа, поради което всяка военна ескалация между САЩ и Иран крие риск от прекъсване на доставки и рязко повишаване на цените.

Освен икономически, ЕС изпитва и политически последици от конфликта. Вътре в Съюза често се наблюдават различия в позициите на държавите членки относно подхода към Иран – между поддръжници на по-твърда линия и такива, които настояват за дипломатически диалог. Това затруднява формирането на единна външна политика и отслабва ролята на ЕС като глобален участник в сферата на сигурността.

Европейските държави традиционно поддържат позиция в подкрепа на международното право и дипломатическото решаване на конфликти. В рамките на ЕС се полагат усилия за съхраняване на механизми за контрол върху иранската ядрена програма и за ограничаване на военната ескалация.

В същото време европейските държави са съюзници на САЩ в рамките на НАТО, което ги поставя в деликатна ситуация между стратегическата солидарност и стремежа към автономна европейска външна политика. Това двойно обвързване създава дипломатически напрежения и поставя Европа в позиция на посредник, но и на потенциално засегната страна.

Конфликтът между САЩ и Иран стимулира процесите на превъоръжаване и модернизация на армейските структури в Европа. Засилват се усилията за укрепване на източния и южния фланг на НАТО, както и за развитие на европейските отбранителни способности. Освен това се наблюдава повишен риск от: Терористични заплахи, свързани с радикални групировки; Кибератаки срещу критична инфраструктура; Хибридни операции и дезинформационни кампании.

Тези фактори налагат разширено разбиране за сигурността, което включва не само класическата военна защита, но и защитата на икономическите системи, информационното пространство и обществената стабилност.

Военните действия в Близкия изток често водят до мащабни миграционни потоци които се насочват към Европа и други стабилни региони. Възможна е нова бежанска вълна, която би натоварила социалните системи на европейските държави и би създала вътрешнополитически напрежения. Миграционният натиск може да се превърне в инструмент за политическо влияние и да задълбочи разделенията между държавите членки на ЕС относно миграционната политика и граничния контрол.

Според данни на ООН, всяка ескалация на насилие и нестабилност увеличава броя на бежанците и вътрешно разселените лица, като това създава социални и икономически

предизвикателства за страните, които приемат мигранти.[8] България, поради географското си разположение на югоизточния периметър на ЕС е потенциална дестинация или транзитна страна за мигрантски потоци. Това може да увеличи натиска върху социалните услуги, инфраструктурата, системите за здравеопазване и образование, както и да предизвика политическо напрежение.

Освен миграционния ефект, съществува и потенциалният терористичен риск. Военните конфликти в Близкия изток често стимулират радикализация и мобилизация на екстремистки групи. Тези групи могат да използват Европа като база за подготовка или извършване на атаки, което изисква повишена бдителност, сътрудничество със съюзници и развитие на превантивни мерки за сигурност.

Комбинацията от миграционни потоци и терористични заплахи показва, че националната сигурност вече не се ограничава само до военен аспект, а включва интегриран подход към социалната, икономическата и информационната стабилност на страната.

Регионът на Югоизточна Европа, включително България, заема важно геостратегическо положение между Близкия изток, Черноморския регион и Централна Европа. Всяка нестабилност в Близкия изток повишава значението на този регион като:

- Транспортен коридор за енергийни ресурси;
- Зона за военна логистика;
- Буфер между конфликтни зони и вътрешността на Европа.

Това увеличава стратегическата тежест на държави като България, но и ги прави по-уязвими на външни влияния и рискове.

Военнополитическото противопоставяне между Съединени американски щати и Иран представлява сложен и многоизмерен конфликт, включващ военни, икономически, идеологически и геополитически аспекти. Той не се изразява единствено в директни военни действия, а се проявява под формата на санкции, дипломатически натиск, прокси-конфликти и ограничени военни удари. Конфликтът има дълбоки исторически корени и съвременно проявление, което го превръща в един от най-рисковите огнища на напрежение в международната система.

Последните събития включват сериозни бойни действия, със съвместни операции на САЩ и Израел срещу Иран, както и ответни атаки от иранска страна, което доведе до глобални реакции и призиви за деескалация.

Ескалацията на напрежението между САЩ и Иран се дължи на няколко взаимосвързани фактора:

На първо място, ядрената програма на Иран поражда опасения, че страната може да се сдобие с ядрено оръжие, което би променило стратегическия баланс в Близкия изток. САЩ и техни съюзници разглеждат това като сериозна заплаха за регионалната и глобалната сигурност.

На второ място, Иран активно разширява политическото и военното си влияние чрез подкрепа на въоръжени групировки в региона, което влиза в конфликт с интересите на САЩ и техните партньори.

На трето място, икономическите санкции срещу Иран, наложени от САЩ, допринасят за икономическа нестабилност в страната и засилват антиамериканската реторика и вътрешнополитическото напрежение.

Въпреки географската разстояние между България и Близкия изток, военният конфликт между Съединени американски щати и Иран оказва множество косвени въздействия върху националната сигурност на страната. Те се проявяват в политически,

икономически, военни и социални измерения, които засягат както държавните институции, така и обществото като цяло.

България изрази позиция за деескалация и уважение към международното право, включително чрез официални изявления на Министерството на външните работи.

- България е член на Европейски съюз и НАТО, което я поставя в позиция на индиректен участник в международните решения относно конфликта.
- Страната следва европейските и трансатлантическите позиции за деескалация и спазване на международното право, което я ангажира дипломатически в координация с партньорите си.
- Възможен е дипломатически натиск да се подкрепят санкциите или ограничителните мерки срещу Иран, които влияят върху външната политика на България.

Политическата и дипломатическа позиция на България трябва да балансира между съюзническите ангажименти и националния интерес.

Един от основните канали, по които евентуален конфликт между САЩ и Иран може да засегне България, е чрез енергийния сектор и икономиката. България е зависима от внос на природен газ и петрол, като голяма част от доставките идват през тръбопроводи и маршрути, които са подложени на глобални влияния.

Ормузкият пролив представлява един от най-важните стратегически морски маршрути в света и има ключово значение за глобалната енергийна сигурност. Ормузкият пролив свързва Персийския залив с Оманския залив и Индийския океан и е основен транспортен коридор за износа на енергийни ресурси от държавите в Близкия изток. Според международни енергийни анализи през този пролив преминават приблизително **20% от световните доставки на петрол**, което се равнява на около **20–21 милиона барела дневно**. Освен това около **25–30% от морската търговия с петрол** и приблизително **една четвърт от световния трафик на втечнен природен газ (LNG)** също се транспортират през този маршрут. Поради тази причина всяка ескалация на напрежението в района, особено във връзка с конфликта между Съединени американски щати и Иран, създава сериозни рискове за международните енергийни пазари. Потенциално затваряне или блокиране на пролива би довело до значително намаляване на глобалните доставки на петрол и природен газ, което би предизвикало рязко повишаване на цените на енергийните ресурси и би оказало негативно въздействие върху световната икономика, включително върху държави от Европейски съюз и върху енергийната сигурност на България.

В случай на военен конфликт, ценовите шокове и възможните прекъсвания на доставките биха довели до рязко увеличение на енергийните разходи за домакинствата и бизнеса. [4]

Енергийният шок има директно отражение върху икономическата стабилност: повишаване на инфлацията, намаляване на покупателната способност и забавяне на икономическия растеж. Освен това, секторите, зависими от външни доставки и международни инвестиции, могат да претърпят забавяния или загуби, което оказва натиск върху бюджета и социалните услуги. В този контекст диверсификацията на енергийните източници, инвестициите в алтернативни енергии и изграждането на стратегически резерви се явяват ключови мерки за укрепване на националната устойчивост. [7]

Високите цени на енергийните ресурси вследствие на конфликта могат да доведат до инфлационни ефекти и натиск върху бюджета, както и затруднения за българския енергиен сектор.

- България е зависима от внос на енергийни ресурси, включително нефт и газ, а конфликти в Персийския залив често предизвикват рязко поскъпване на цените.

- Нарушенията в транспортните маршрути и потенциални санкции могат да доведат до проблеми с доставки за българската индустрия и енергийния сектор.
- Икономическите ефекти включват инфлационен натиск, по-високи разходи за предприятия и домакинства и отслабване на инвестиционната среда.

Икономическите рискове от конфликта изискват стратегически подход за диверсификация на енергийните доставки и мерки за енергийна сигурност.

Като член на НАТО и Европейския съюз, България има ангажименти към колективната сигурност и участие в международни операции. Това означава, че при възникване на глобален конфликт страната трябва да координира националните си решения с алиансите, което увеличава сложността на управлението на кризата и потенциално поставя страната пред избори с високи стратегически рискове. [5]

Съюзническите ангажименти изискват България да участва в планиране, обмен на информация и потенциална логистична или военна подкрепа. Това от своя страна може да я изложи на косвени рискове, включително заплахи към военни обекти, транспортни маршрути и персонал. В този контекст националната сигурност се разширява отвъд традиционния военен аспект и включва стратегическо планиране и взаимодействие на международно ниво.

Правителствените оценки от февруари 2026 г. подчертават, че България към момента не е в пряка военна заплаха и не участва в бойни действия, но участието ѝ в НАТО и стратегическите позиции в региона я правят индиректно засегната.

- Възможно е участие в мисии за защита на съюзнически интереси или в логистична подкрепа, което увеличава стратегическата уязвимост.
- Конфликтът засилва необходимостта от модернизиране на отбранителните способности и готовността за бързо реагиране при кризи.

Военните аспекти подчертават значението на участие в съюзнически структури и подготовка за възможни рискове.

Медийният фокус върху конфликта и потенциалните заплахи могат да предизвикат обществено безпокойство и несигурност, особено сред български граждани, живеещи в засегнатия регион.

- Медийната експозиция на конфликта създава обществено напрежение и чувство за несигурност.
- Потенциалната миграционна вълна или засилена пропаганда могат да предизвикат социални и политически дисбаланси.
- Необходим е анализ на общественото мнение и подготовка на информационни стратегии за справяне с дезинформацията.

Социалните и психологически ефекти изискват комплексен подход за поддържане на обществената устойчивост и информираност.

От всичко изложено до тук, може да се направи следното обобщение.

Военният конфликт между САЩ и Иран влияе върху България чрез четири основни канала:

1. Политически и дипломатически – чрез участие в международни решения и натиск от съюзници;
2. Икономически – чрез енергийни рискове и търговски зависимости;
3. Военни и стратегически – чрез членство в НАТО и геополитическата позиция на страната;

4. Социално-психологически – чрез медиен натиск, дезинформация и потенциална миграционна вълна.

Конфликта между САЩ и Иран може да предизвика значителни обществени и социални последствия в България. Икономическите и енергийните шокове могат да доведат до социално недоволство, протести и напрежение в обществото. А също така и засиленият миграционен натиск може да се отрази върху социалната инфраструктура, като здравеопазване, образование и жилищно настаняване, особено в региони, които са традиционно входни точки за мигрантите. [8]

Освен това, информационната война и дезинформационните кампании могат да подкопаят доверието към институциите и да стимулират политическа поляризация. Комбинацията от икономически трудности, миграционен натиск и хибридни заплахи ще засили социалната нестабилност, ако държавата не предприеме проактивни мерки. Това подчертава необходимостта от изграждане на комплексни стратегии за кризисно управление, включително координация между държавните институции, обучение на населението и подготовка за извънредни ситуации.

Разработването на стратегии за диверсификация на енергията, укрепване на инфраструктурната и кибернетична сигурност, подготовка за управление на миграционни потоци и активно сътрудничество с международните съюзи са критични мерки за минимизиране на потенциалните последствия и укрепване на устойчивостта на България.

Националната сигурност на България включва защита на територията, икономическата стабилност, енергийна независимост, киберсигурност и социална устойчивост. Институциите – от Министерски съвет до службите за сигурност – имат ключова роля в оценката и управлението на рисковете, произтичащи от международни конфликти.

В контекста на военния конфликт между Съединени американски щати и Иран разбирането на националната сигурност придобива ключово значение, тъй като различните заплахи могат да въздействат едновременно върху множество нива на държавата.

Националната сигурност на България се разгледа чрез следните основни компоненти: ***Териториална и военна сигурност*** – защита на границите и териториалната цялост; участие в отбранителни съюзи като НАТО за колективна защита. ***Политическа сигурност*** – стабилност на държавните институции, ефективно управление и способност за вземане на решения при кризи. ***Икономическа сигурност*** – устойчивост на икономическата система, контрол върху стратегически ресурси и минимизиране на външните зависимости. ***Енергийна сигурност*** – гарантиране на стабилни доставки на енергийни ресурси и диверсификация на източниците. ***Социална и информационна сигурност*** – защита на населението от пропаганда, дезинформация, радикализация и социални конфликти. ***Киберсигурност*** – защита на информационните системи на държавата и критичната инфраструктура от външни и вътрешни заплахи.

Националната сигурност на България се гарантира от комплекс от институции, всяка със своя специфична роля: ***Министерство на отбраната*** (МО) – планиране и провеждане на отбранителната политика, участие в международни мисии. ***Министерство на вътрешните работи*** (МВР) – осигуряване на вътрешен ред, защита от терористични заплахи и миграционен контрол. ***Национална служба за сигурност и службите за разузнаване*** (НСССР) – събиране и анализ на информация за външни и вътрешни заплахи. ***Министерство на енергетиката*** (МЕ) – управление на енергийната инфраструктура и ресурси. ***Съвет по национална сигурност към Министерския съвет*** – координация на политиките за сигурност и стратегическо планиране.

Тези институции функционират в рамките на националното законодателство и международните ангажименти на България, включително членството ѝ в ЕС и НАТО.

В контекста на конфликта между САЩ и Иран, основните рискове за България включват:

1. **Военни рискове** – макар директната военна заплаха да е ниска, страната може да бъде индиректно засегната чрез участие в съюзнически операции или чрез глобалните военно-стратегически последствия.
2. **Енергийни и икономически рискове** – рязко повишаване на цените на петрола и газа, прекъсване на доставки, инфлационен натиск.
3. **Политически и дипломатически рискове** – необходимостта от балансиране между съюзническите ангажименти и националните интереси.
4. **Социални и информационни рискове** – дезинформация, радикализация, обществено напрежение, миграционен натиск.
5. **Киберрискове** – потенциални атаки върху критична инфраструктура, информационни системи и публичното пространство. Като регионално изследване състоянието на критичната инфраструктура за район Шумен е анализирано в [1].

Националната сигурност на България е многопластов и взаимосвързан механизъм, който включва политически, военни, икономически, енергийни, социални и информационни измерения. Военният конфликт между САЩ и Иран влияе върху България по различни канали, като подчертава необходимостта от комплексен подход към анализа и управлението на заплахите. Разбирането на концепцията за национална сигурност и идентифицирането на институционалните механизми е ключово за формулирането на ефективни стратегии за превенция и реагиране.

От направеният анализ на конкретно въздействие на конфликта върху България се извеждат следните изводи**:** *Въпреки че България не е пряко ангажирана във военния конфликт между Съединени американски щати и Иран, косвените ефекти върху националната сигурност са многопластови. Те засягат икономическата стабилност, енергийната сигурност, военните аспекти, дипломатическите позиции, киберсигурността и обществения ред.*

Военни рискове и участие в алианси (НАТО): 1.България не е пряка страна по конфликта, но като член на НАТО е индиректно обвързана с отбранителните политики на съюза. 2.Военният конфликт води до повишена активност на алианса, включително наблюдение на стратегически региони, готовност за мисии и потенциални логистични ангажименти. 3.Възможни са сценарии, при които страната да предоставя инфраструктурна или логистична подкрепа, което увеличава стратегическата ѝ уязвимост.

Необходима е поддържане на висока отбранителна готовност и активна координация с НАТО.

Енергийна зависимост и сигурност: 1.България е зависима от внос на природен газ и нефт, основно през морски и сухопътни маршрути, които могат да бъдат засегнати от конфликта. 2.Напрежението между САЩ и Иран води до рязко повишаване на цените на енергоресурсите и риск от нарушаване на доставките. 3.Дългосрочното въздействие включва необходимост от диверсификация на енергийните източници и разработване на стратегически резерви.

Енергийният компонент е критичен канал, чрез който конфликти в Близкия изток се отразяват пряко върху икономическата стабилност на България.

Икономически ефекти – търговски отношения и финансови пазари: **1.**Нарушенията в глобалната търговия и увеличаването на енергийните цени създават инфлационен натиск върху българската икономика. **2**.Възможни са затруднения за промишлеността и енергийно зависимите сектори, както и за държавния бюджет. **3**.Инвестиционният климат може да бъде засегнат, тъй като глобалната несигурност увеличава рисковете за чуждестранни инвеститори.
Икономическите последици са значителни и изискват планове за стабилизиране на бюджета и защита на стратегически отрасли.

Дипломатически последици за външната политика на България: 1.Конфликтът поставя България в деликатна дипломатическа позиция между съюзническите задължения към НАТО и ЕС и необходимостта да се запазят добри отношения с държави от Близкия изток. **2**.Държавата трябва да участва активно в дипломатически усилия за деескалация, докато защитава националния интерес. **3**.Възможен е международен натиск за подкрепа на санкции или военни действия срещу Иран.
Външнополитическата гъвкавост и стратегическо балансиране са ключови за защита на българските интереси.

Киберсигурност и информационна безопасност: 1.Глобалните конфликти често водят до засилена активност на кибератаките срещу критична инфраструктура, правителствени институции и банки. **2**.Дезинформацията и пропагандата могат да създадат обществено напрежение и да подкопаят доверието в институциите. **3.**България трябва да укрепи киберзащитата и системите за ранно предупреждение за информационни заплахи.
Киберсигурността се превръща в стратегически канал за влияние на конфликта, който изисква постоянен мониторинг и превантивни мерки [10].

ОБОБЩЕНИЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО

Елемент на сигурността	Въздействие
1. Военна готовност	Косвено, чрез НАТО и съюзнически ангажименти
2. Енергийна сигурност	Риск от поскъпване и прекъсване на доставки
3. Икономика	Инфлация, затруднения за индустрията и бюджета
4. Дипломация	Необходимост от балансирана външна политика
5. Кибер и информационна безопасност	Повишен риск от атаки и дезинформация

Косвеното влияние на конфликта изисква комплексен подход, който обединява отбранителни, икономически, дипломатически и кибермерки за защита на националната сигурност.

За да се смекчат косвените ефекти от военния конфликт между Съединени американски щати и Иран върху България, е необходимо прилагането на комплексни политики и мерки, които да обхващат външнополитически, военни, икономически, кибернетични и международни аспекти на националната сигурност.

1. Външна политика: Да се намали рискът от международна изолация и да се подсилят стратегическите позиции на България в глобалния контекст

- България трябва да продължи активните дипломатически усилия за **деескалация на конфликта** и защита на националните интереси.
- Важна роля имат **двустранните и многостранните дипломатически контакти** с ЕС, НАТО и регионални актьори в Близкия изток.

- Политическата стратегия включва участие в международни инициативи за мир, посредничество и спазване на международното право.
- Необходимо е **информирано и балансирано позициониране**, което съчетава солидарността със съюзници и защитата на българските икономически и стратегически интереси.

2. Отбранителна готовност: Осигуряване на готовност за непредвидени ситуации и защита на териториалната цялост.

- Поддържане на **ефективни отбранителни способности** чрез модернизация на военната техника, обучение и стратегическо планиране. Ролята на геодезията във военните операции е разгледана в [11], а нейното развитие чрез нови технологии в [12].
- Активно участие в структури на НАТО, което осигурява колективна защита и стратегическа интеграция [9].
- Разработване на **национални сценарии за кризи**, включително реакция при регионални конфликти, косвено засягащи страната.
- Засилване на **военната инфраструктура и логистичните възможности**, които позволяват бързо мобилизиране на ресурси при нужда.

3. Икономически мерки: Ограничаване на икономическите и енергийни рискове, свързани с международни конфликти.

- Разработване на **национална енергийна стратегия**, която да включва диверсификация на доставките на нефт, газ и алтернативни енергийни източници.
- Намаляване на **зависимостта от един доставчик или регион**, чрез инвестиции в инфраструктура за транспорт и съхранение на ресурси.
- Икономическите мерки включват и **резервни фондове и стратегически запаси**, които да смекчат въздействието от глобални кризи върху българската икономика.
- Засилване на икономическата устойчивост на ключови отрасли чрез стимулиране на вътрешно производство и стратегически инвестиции.

4. Киберзащита: Минимизиране на риска от кибератаки и информационни заплахи, които могат да подкопаят националната сигурност

- Подобряване на **националната киберсигурност** чрез модерни технологии, обучение на специалисти и изграждане на устойчиви системи за защита. Същността, ролята, мястото и задачите на киберзащитата в сигурността и отбраната са разгледани в [2], а международните и националните измерения на киберсигурността в [6].
- Създаване на **мониторингови и предупредителни механизми** за дезинформация и информационни кампании, които могат да предизвикат социална нестабилност.
- Координация между **държавните институции и частния сектор** за защита на критичната инфраструктура, банки, енергийни и транспортни системи.
- Разработване на **национални протоколи за реагиране при киберкризи**, включително координация с НАТО и ЕС.

5. Международно сътрудничество: Подсилване на националната сигурност чрез международно сътрудничество и стратегическа интеграция.

- Засилване на **координацията със съюзници** (НАТО, ЕС, регионални партньори) за ранно предупреждение и обмен на информация относно потенциални заплахи.

- Участие в **международни инициативи за сигурност**, включително наблюдение на енергийни маршрути, киберзаплахи и миграционни потоци.
- Разработване на **механизми за съвместно реагиране** при кризи, които биха могли да засегнат територията и интересите на България.
- Активна роля в **дипломатически форуми**, които работят за деескалация на конфликти и защита на глобалната стабилност.

Прилагането на тези мерки осигурява балансиран и стратегически подход към управлението на риска, произтичащ от глобални конфликти, и защита на националните интереси на България.

Конфликтът между САЩ и Иран, макар и географски отдалечен от територията на България, създава сериозни предизвикателства за националната сигурност. Тези ефекти включват икономическа нестабилност, енергийни рискове и потенциални социални последици. Българските институции трябва да продължат активно да наблюдават ситуацията и да прилагат адекватни мерки за превенция и управление на заплахите.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Диманова Д. В., Цанков Ц. С. Анализ състоянието на критичната инфраструктура за район Шумен. Годишник на Шуменския университет „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2016, ISSN 1311-834X, с. 45–54.

[2] Николов Л. Същност, роля, място и задачи на кибер защитата в сигурността и отбраната. International Scientific Conference “Technics. Technologies. Education. Safety ’18”, Proceedings, Year II, Issue 1 (4), Vol. 1, Section Military Sciences, Sofia, 2018, ISSN 2535-0315, pp. 33–36.

[3] Стаменова А. В., Диманова Д. В., Цанков Ц. С. Новите войни на XXI век. Научна конференция MATTEX 2014, Шумен, 2014, ISSN 1314-3921.

[4] Allison, G., 2017. Destined for War: Can America and China Escape Thucydides’s Trap? Houghton Mifflin Harcourt.

[5] Cordesman, A.H., 2020. The Iran-Iraq War and Regional Security. Center for Strategic and International Studies.

[6] Denev D., Konstantinova E., Ismailov T. Cybersecurity – International and National Dimensions. Journal of Technology, National Military University “Vasil Levski”, Veliko Tarnovo, 2019.

[7] Freedman, L., 2021. Strategy: A History. Oxford University Press.

[8] International Energy Agency, 2023. World Energy Outlook 2023. Paris: IEA.

[9] NATO, 2022. Strategic Concept for the Defence and Security of the Members of the North Atlantic Treaty Organization. Brussels: NATO.

[10] Nikolov L., Slavyanov K. On the Contemporary Cybersecurity Threats. First International Scientific Conference CONFSEC 2017, Borovets, 11–14 December 2017, ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online), pp. 142–144.

[11] Stefanova A. The Role of Geodesy in Military Operations: Historical Development and Modern Use. Security and Defense Scientific Journal, Year IV, Issue 1, 2025, pp. 213–222, ISSN 2815-388X, ISSN 2815-4584. https://doi.org/10.70265/PXBB9124

[12] Stefanova, A. Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. Proceedings of the International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering ArCivE 2025, Varna, Vol. 5, 2025, pp. 311–317, ISSN 2535-0781.

[13] Smith, S. & Timmins, G., 2019. European Security and the Middle East Conflicts. Routledge.

[14] Bulgarian Ministry of Foreign Affairs, 2022. National Security Strategy of the Republic of Bulgaria. Sofia: MFA.

[15] United Nations, 2021. Report on Global Migration and Security Risks. New York: UN Publications.

THE GEOPOLITICAL ENVIRONMENT AS A FACTOR FOR THE TRANSFORMATION OF PUBLIC ADMINISTRATION*

ILIANA K. SIMEONOVA

ABSTRACT: *The modern geopolitical environment is characterized by dynamic changes, growing strategic competition, regional conflicts, technological dependence and transformation of traditional notions of security. These processes have a direct impact on the functioning of public administration and set new requirements for its adaptability, resilience and administrative capacity. The article examines the geopolitical environment as a significant external factor for the transformation of public administration. The main geopolitical challenges and risks for administrative structures are analyzed, as well as the need for transition from a traditional to an adaptive model of governance. Special attention is paid to digital transformation, cybersecurity, risk management, development of administrative competences and building institutional resilience. The thesis is argued that in conditions of a high degree of uncertainty, public administration should develop capabilities for forecasting, prevention, rapid response and continuity of public services.*

KEYWORDS: *geopolitical environment, public administration, administrative transformation, administrative security, institutional resilience, risk management, digitalization, cybersecurity, crisis management*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26IKI

ГЕОПОЛИТИЧЕСКАТА СРЕДА КАТО ФАКТОР ЗА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПУБЛИЧНАТА АДМИНИСТРАЦИЯ

ИЛИАНА К. СИМЕОНОВА

АБСТРАКТ: *Съвременната геополитическа среда се характеризира с динамични промени, нарастваща стратегическа конкуренция, регионални конфликти, технологична зависимост и трансформация на традиционните представи за сигурност. Тези процеси оказват пряко влияние върху функционирането на публичната администрация и поставят нови изисквания за нейната адаптивност, устойчивост и административен капацитет. Статията разглежда геополитическата среда като значим външен фактор за трансформацията на публичната администрация. Анализират се основните геополитически предизвикателства и рискове за административните структури, както и необходимостта от преход от традиционен към адаптивен модел на управление. Специално внимание се отделя на дигиталната трансформация, киберсигурността, управлението на риска, развитието на административните компетенции и изграждането на институционална устойчивост. Тезата се твърди, че при условия на висока степен на несигурност публичната администрация трябва да развива възможности за прогнозиране, превенция, бърз отговор и непрекъснатост на обществените услуги.*

1 Въведение

Съвременната международна среда се характеризира с динамични и трудно прогнозируеми процеси, които променят условията, при които функционират държавните институции. Засилването на стратегическата конкуренция, регионалните конфликти, икономическите и енергийните зависимости, технологичното съперничество,

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

киберзаплахите и хибридните въздействия разширяват традиционното разбиране за сигурността. В резултат на това границата между вътрешни и външни рискове става все по-условна, а последиците от международни процеси могат да се проявят непосредствено в административната и социално-икономическата среда на отделната държава [28, 29].

Тези промени поставят публичната администрация в нова среда на функциониране. Тя не може да бъде разглеждана единствено като механизъм за изпълнение на нормативно определени функции и предоставяне на административни услуги. В условията на кризи и висока степен на неопределеност публичната администрация се превръща в един от основните инструменти за поддържане на институционалната устойчивост на държавата.

Актуалността на проблема се определя и от ускорената дигитализация на публичния сектор. Електронното управление, цифровите административни услуги, използването на облачни технологии, автоматизацията и навлизането на изкуствения интелект създават възможности за по-висока ефективност, но едновременно с това увеличават зависимостта на администрацията от информационни и комуникационни технологии. Националният стратегически документ „Цифрова трансформация на България за периода 2024–2030 г.“ определя националните цели и приоритети в областта на цифровата трансформация и включва цифровизацията на обществените услуги като едно от основните направления на развитие [14, 27].

В тази среда геополитическата среда следва да се разглежда не само като външен фактор, който влияе върху политическите решения, но и като фактор за структурна, технологична и управленска трансформация на публичната администрация.

2 Геополитически предизвикателства пред публичната администрация. Характеристики на съвременната геополитическа среда.

Геополитическата среда представлява съвкупност от международни политически, икономически, военни, технологични и социални отношения, които формират условията за функциониране и развитие на държавите. В съвременните условия нейна характерна особеност е високата степен на взаимозависимост между различните процеси. Новите войни на XXI век са разгледани в [11], а историческото развитие и съвременното използване на геодезията във военните операции в [21].

Кризата в един регион може да предизвика последствия в други държави чрез промени в енергийните пазари, търговските потоци, транспортните маршрути, миграционните процеси или информационната среда. По този начин геополитическите рискове все по-често придобиват трансграничен характер.

За публичната администрация това означава, че управленските решения трябва да се основават на по-широка оценка на средата. Необходимо е да се отчита не само непосредственият административен проблем, но и неговата връзка с икономически, технологични и социални процеси.

Националната програма за развитие „България 2030“ определя доброто управление като самостоятелна област на политика и поставя публичното управление в контекста на дългосрочното развитие на страната. Документът е рамков стратегически акт с хоризонт до 2030 г. [9]. В условията на геополитическа нестабилност обаче доброто управление трябва да бъде допълнено с още една характеристика – **устойчивост**. Ефективната администрация не е само администрация, която работи добре при нормални условия. Тя трябва да може да запази основните си функции и при криза.

Съвременната геополитическа среда разширява традиционното разбиране за сигурност. Наред с военните и политическите рискове все по-голямо значение придобиват киберзаплахите, информационното въздействие, дезинформацията, технологичните зависимости и нарушенията на критични инфраструктури.

Особено значение има киберпространството, тъй като голяма част от административните процеси вече зависят от цифрови системи. Кибератака срещу информационна система на публична институция може да доведе не само до загуба на информация, но и до прекъсване на административни услуги. Директива (ЕС) 2022/2555 – NIS2 – поставя акцент върху високото общо ниво на киберсигурност в Европейския съюз, управлението на киберриска, докладването на инциденти и координацията между компетентните органи [16]. Директивата включва в обхвата си определени публични администрации на централно и регионално равнище, като предоставя възможност държавите членки да разширят приложението ѝ и към местната администрация и определени образователни институции. Това показва, че киберсигурността вече не може да бъде разглеждана като чисто технически въпрос. Тя е част от управлението на административния риск и от цялостната институционална устойчивост.

Геополитическите промени поставят няколко ключови изисквания към публичната администрация. Първото е **скорост на реакция**. При криза традиционните продължителни административни процедури могат да се окажат недостатъчни.

Второто е **междуинституционална координация**. Сложните рискове не могат да бъдат управлявани от една институция самостоятелно. Третото е **информационна обезпеченост**. В условията на информационна неопределеност качеството на управленското решение зависи от достъпа до надеждна и своевременна информация.

Четвъртото е **адаптивност**. Административните структури трябва да могат да променят организацията на работа в зависимост от характера и динамиката на риска.

Следователно геополитическата среда променя не само съдържанието на административните функции, но и начина, по който те се реализират.

3 Геополитическите рискове като фактор за трансформация на административната среда. Основни рискове за публичната администрация

Публичната администрация е изложена на комплекс от взаимосвързани рискове.

На първо място са **киберрисковете**. Дигитализацията увеличава ефективността на администрацията, но едновременно създава нови точки на уязвимост. Компрометирането на административна система може да наруши предоставянето на услуги, да доведе до загуба на данни или да засегне доверието в институцията. На второ място са **информационните рискове**. Разпространяването на манипулативна или невярна информация може да затрудни институционалната комуникация и да създаде обществено недоверие. На трето място са **икономическите и енергийните рискове**. Външни шокове могат да доведат до промени в публичните разходи, прекъсване на доставки и необходимост от преразпределение на административен ресурс. На четвърто място са **миграционните и социалните рискове**, които при определени геополитически обстоятелства могат да създадат значително натоварване върху административни системи като социалната, здравната, образователната и местната администрация.

Налице е и риск от **прекъсване на критични публични услуги**. Поради взаимната зависимост между различни инфраструктури и цифрови системи локален инцидент може

да има каскадни последствия [17]. Състоянието на критичната инфраструктура в район Шумен е анализирано в [2], а оценяването ѝ на общинско ниво е разгледано в [13].

Възможността една администрация да противодейства на риска зависи не само от характера на заплахата, но и от собствените ѝ уязвимости. Сред основните уязвимости могат да бъдат посочени недостатъчният административен капацитет, дефицитът на специализирани кадри, технологичната зависимост, слабата междуинституционална координация и недостатъчно развитата култура на управление на риска.

Съществен проблем представлява и **зависимостта от външни технологични ресурси**. Когато критични административни функции са свързани с ограничен брой доставчици или инфраструктури, възниква стратегическа уязвимост. Друг важен фактор е човешкият ресурс. Дигиталната трансформация изисква служителите да притежават не само традиционни административни компетентности, но и цифрови и аналитични умения. Приложението на динамични масиви в MS Excel за обработка и анализ на данни е разгледано в [20], а трансформацията на геодезията чрез нови технологии в [22].

Поради това трансформацията на публичната администрация не може да бъде сведена до промяна на технологичната инфраструктура. Необходима е промяна в организационната култура и в начина на управление.

Управлението на риска трябва да се превърне в постоянен управленски процес. То включва идентифициране на заплахите, оценка на вероятността и въздействието, определяне на превантивни мерки, мониторинг и реакция.

В този контекст особено значение има вътрешният контрол. Стратегията за развитие на вътрешния контрол в публичния сектор на Република България за периода 2023–2026 г. определя като стратегическа цел подобряването на функционирането на системите за вътрешен контрол и повишаването на ефективността на контролните механизми в публичния сектор [12].

Връзката между управление на риска и вътрешен контрол е особено важна в условията на геополитическа нестабилност. Контролът не трябва да се разбира само като проверка на законосъобразността на вече извършени действия. Той трябва да подпомага идентифицирането на слабости и предотвратяването на бъдещи проблеми. Нормативната основа включва и законите за публичните финанси и за вътрешния одит в публичния сектор [7, 8].

4 Трансформация на публичната администрация в условията на променяща се геополитическа среда

Традиционният административен модел се основава в значителна степен на предварително определени процедури, йерархична структура и относително стабилна среда. Този модел остава необходим за гарантиране на законността и предвидимостта [4], но сам по себе си не е достатъчен за управление на сложни и бързо променящи се рискове.

Необходим е преход към **адаптивен административен модел**, който съчетава нормативна стабилност с организационна гъвкавост. Адаптивността не означава отказ от правила. Тя означава способност правилата и административните процеси да бъдат организирани така, че институцията да може своевременно да реагира на промени в средата. Този модел предполага развитие на механизми за ранно предупреждение, сценарийно планиране, кризисно управление и междуинституционално взаимодействие.

Важен елемент е и **прогнозната функция на администрацията**. Вместо да реагира единствено след настъпването на дадено събитие, тя трябва да идентифицира тенденциите, които могат да породят риск, и да подготвя предварителни варианти за действие.

Дигиталната трансформация е едно от най-значимите направления на съвременната административна промяна. Националният стратегически документ „Цифрова трансформация на България за периода 2024–2030 г.“ определя национални цели и приоритети, свързани с цифровата инфраструктура, цифровите умения, цифровизацията на бизнеса и цифровото управление. Дигитализацията може да съкрати административните процедури, да повиши достъпността на услугите и да подобри взаимодействието между институциите и гражданите [5, 26]. Сравнителен контекст за публичното управление предоставя изданието на OECD „Government at a Glance 2025“ [25]. Тя обаче създава и нови изисквания към сигурността. Необходимо е да се гарантират: поверителност на информацията; цялост на данните; наличност на административните системи; контрол върху достъпа; проследимост на действията; и възможност за възстановяване след инцидент.

В този контекст административната сигурност и киберсигурността трябва да се разглеждат като взаимосвързани елементи. Проблемите на защитата на информацията в системата на националната и корпоративната сигурност са разгледани в [15], а киберразузнаването за защита на организациите от злонамерена дейност в [18].

Допълнителен фактор за трансформация е навлизането на **изкуствения интелект** в публичното управление. Регламент (ЕС) 2024/1689 – т.нар. AI Act – установява хармонизирана европейска правна рамка за изкуствения интелект и цели едновременно да насърчи развитието на надежден ИИ и да осигури високо равнище на защита на здравето, безопасността, основните права, демокрацията и върховенството на закона [24].

Към юли 2026 г. регламентът вече има и последващо изменение с Регламент (ЕС) 2026/1744, което следва да бъде отчетено при анализа на актуалната европейска регулаторна среда. Използването на ИИ в администрацията поставя въпроси за прозрачността, човешкия контрол, надеждността на автоматизираните решения, защитата на личните данни [23] и управлението на алгоритмичния риск. Следователно технологичната трансформация трябва да бъде съпроводена от институционална и нормативна адаптация.

Геополитическата и технологичната трансформация променят и профила на съвременния административен служител. Наред с традиционните познания по административно право и процедури все по-голямо значение придобиват: цифровата грамотност; аналитичните умения; уменията за оценка на риска; кризисното управление; информационната сигурност; междуинституционалната комуникация; и способността за работа с цифрови и автоматизирани системи.

Това предполага преосмисляне на системата за обучение и развитие на човешките ресурси в администрацията. Служителят трябва да бъде разглеждан не само като изпълнител на административна процедура, а като участник в система за управление на публичен риск. От неговата компетентност и култура за сигурност може да зависи устойчивостта на цяла административна структура.

5 Мерки за повишаване на институционалната устойчивост на публичната администрация

Институционалната устойчивост може да се определи като способност на административната организация да запази основните си функции, да реагира на възникнали нарушения и да възстанови нормалната си дейност в разумен срок.

Първата предпоставка за устойчивост е наличието на ясна организационна структура и разпределение на отговорностите. Втората е осигуряването на резервни механизми за критичните административни процеси. При прекъсване на информационна система,

електрозахранване, комуникационен канал или друг ресурс трябва да съществува предварително разработен вариант за продължаване на дейността. Третата предпоставка е периодичното тестване на готовността. Плановете за действие при кризи имат реална стойност само когато се проверяват чрез практически упражнения и се актуализират на база установените слабости.

Необходимо е управление на риска да бъде интегрирано във всички равнища на административното управление.

Подходящ модел включва: **идентифициране → оценка → превенция → мониторинг → реакция → възстановяване → анализ на опита.**

Последният елемент е особено важен. След възникване на инцидент институцията трябва да анализира не само конкретното събитие, но и причините, позволили неговото възникване. Така кризата се превръща в източник на организационно учене.

Вътрешният контрол има ключова роля в този процес. Действащата българска стратегия за вътрешен контрол до 2026 г. поставя акцент върху подобряване на контролните системи, вътрешния одит и координацията между контролните органи.

В условията на цифровизация административната сигурност трябва да включва комплекс от организационни и технически мерки.

Сред основните могат да бъдат посочени:

1. класифициране на критичните информационни ресурси;
2. контрол на достъпа;
3. използване на многофакторна автентикация;
4. резервиране и възстановяване на данни;
5. актуализиране на информационните системи;
6. мониторинг на сигурността;
7. процедури за докладване и управление на инциденти;
8. периодично обучение на служителите.

NIS2 поставя управлението на киберриска и докладването на инциденти в центъра на европейския подход към киберсигурността. Това насочва публичните организации към по-системен модел, при който сигурността се интегрира в управленските процеси, а не се оставя единствено на техническите специалисти.

Българската актуализирана Национална стратегия за киберсигурност „Киберустойчива България 2023“ също поставя акцент върху координираната превенция, реакцията и възстановяването при киберинциденти [1]. Националната нормативна рамка включва Закона за киберсигурност [6], а ролята на Европейския съюз в тази област е разгледана в [10].

Сложността на съвременните рискове прави невъзможно тяхното ефективно управление от една институция. Необходимо е изграждането на устойчиви механизми за обмен на информация между централната и местната администрация, органите за сигурност, операторите на критична инфраструктура и частния сектор. На международно равнище България функционира в рамките на Европейския съюз и НАТО, което създава възможности за обмен на информация, стандарти, добри практики и механизми за колективна устойчивост. Междуинституционалното взаимодействие трябва да се разглежда не само като реакция при криза, а като постоянен процес на подготовка и превенция. Функциите на органите на изпълнителната власт при защита от бедствия са разгледани в [3], а геодезическите подходи и цифровите технологии за оценка на риска от наводнения в [19].

ОБОБЩАВАЩА ТАБЛИЦА НА КОНКРЕТНИ УПРАВЛЕНСКИ РЕШЕНИЯ

Геополитическо предизвикателство	Риск за администрацията	Необходима трансформация	Мярка за устойчивост
Кибератаки	Нарушаване на административни системи	Дигитална трансформация	Киберзащита
Дезинформация	Намаляване на институционалното доверие	Информационна устойчивост	Мониторинг и комуникация
Геополитически конфликти	Кризисни ситуации	Адаптивно управление	Сценарийно планиране
Енергийни кризи	Нарушаване на публични услуги	Управление на зависимости	Резервни механизми
Миграционен натиск	Натоварване на администрацията	Междуинституционална координация	Кризисен капацитет
Технологична зависимост	Уязвимост на критични системи	Технологична автономност	Диверсификация

6 Заключение

Съвременната геополитическа среда създава качествено нови условия за функциониране на публичната администрация. Ускорената динамика на международните отношения, стратегическата конкуренция, регионалните конфликти, киберзаплахите, технологичните зависимости и информационните въздействия поставят пред административните структури изисквания, които не могат да бъдат посрещнати единствено чрез традиционни управленски механизми.

Анализът показва, че геополитическата среда се превръща в катализатор на административна трансформация. Тази трансформация има няколко взаимосвързани измерения – организационно, технологично, кадрово и ниво на сигурност.

Публичната администрация трябва да развива по-висока степен на адаптивност. Необходимо е да се създават механизми за ранно предупреждение, сценарийно планиране и бърза реакция. Дигиталната трансформация трябва да бъде съпроводена с повишаване на административната и киберсигурността. Нарастващата зависимост от цифрови технологии означава, че защитата на информационните ресурси вече е част от институционалната устойчивост. Необходимо е също така и развитие на административния капацитет. Съвременният служител трябва да притежава не само професионални административни знания, но и цифрови и аналитични компетентности по сигурност. И на последно място управлението на риска следва да бъде интегрирано във всички равнища на публичното управление. Реактивният подход трябва постепенно да бъде заменен от проактивен модел, основан на прогнозиране, превенция, мониторинг и организационно учене.

В този смисъл институционалната устойчивост трябва да се превърне в основна характеристика на съвременната публична администрация. Устойчива е не просто администрацията, която функционира ефективно в нормална среда, а тази, която може да запази своите критични функции, да реагира адекватно при криза и да възстанови дейността си след настъпване на неблагоприятно събитие.

Следователно геополитическата среда не трябва да бъде разглеждана единствено като източник на заплахи. Тя представлява и фактор за модернизация на публичното управление, който стимулира развитието на по-гъвкави, цифрово компетентни, сигурни и устойчиви административни институции.

Перспективата пред публичната администрация е свързана с изграждането на интегриран модел, в който адаптивното управление, цифровата трансформация, управлението на риска, административната сигурност и институционалната устойчивост функционират като взаимосвързани елементи на единна система за управление на публичните процеси.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Актуализирана национална стратегия за киберсигурност „Киберустойчива България 2023“. Приета с Решение № 301 на Министерския съвет от 02.04.2021 г.

[2] Диманова Д. В., Цанков Ц. С. Анализ състоянието на критичната инфраструктура за район Шумен. Годишник на Шуменския университет „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2016, ISSN 1311-834X, с. 45–54.

[3] Диманова Д. Функции на органите на изпълнителна власт за защита при бедствия. Научна конференция „Облачните структури и защитата на информацията“, НВУ „Васил Левски“, факултет „Артилерия, ПВО и КИС“, Шумен, 2016, с. 161–164, ISBN 978-954-9681-73-4.

[4] Закон за администрацията. Обн. ДВ, бр. 130 от 05.11.1998 г., посл. изм. и доп.

[5] Закон за електронното управление. Обн. ДВ, бр. 46 от 12.06.2007 г., посл. изм. и доп.

[6] Закон за киберсигурност. Обн. ДВ, бр. 94 от 13.11.2018 г., посл. изм. и доп.

[7] Закон за публичните финанси. Обн. ДВ, бр. 15 от 15.02.2013 г., посл. изм. и доп.

[8] Закон за вътрешния одит в публичния сектор. Обн. ДВ, бр. 27 от 31.03.2006 г., посл. изм. и доп.

[9] Национална програма за развитие „България 2030“. Министерски съвет на Република България, 2020.

[10] Николов Л. Ролята на Европейския съюз в осигуряването на киберсигурност. Международна научна конференция „Политиката на Европейския съюз по защитата на информацията и личните данни“, Сборник научни трудове, Шумен, 2018, ISBN 978-954-9681-89-5, с. 23–28.

[11] Стаменова А. В., Диманова Д. В., Цанков Ц. С. Новите войни на XXI век. Научна конференция МАТТЕХ 2014, Шумен, 2014, ISSN 1314-3921.

[12] Стратегия за развитие на вътрешния контрол в публичния сектор на Република България за периода 2023–2026 г. Приета с Решение № 993 на Министерския съвет от 08.12.2022 г.

[13] Цанков Ц. С. Програма за оценка на критичната инфраструктура на общинско ниво. Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2022, 63 с., ISBN 978-619-201-572-5.

[14] Цифрова трансформация на България за периода 2024–2030 г. Национален стратегически документ, приет с Решение № 264 на Министерския съвет от 04.04.2024 г.

[15] Denev D., Konstantinova E. Main Issues in the Protection of Information in the System of National and Corporate Security. Scientific Conference with International Participation МАТТЕН 2020, Conference Proceedings, Vol. 2, Communication and Computer Technologies, Shumen, 2020, ISSN 1314-3921.

[16] Directive (EU) 2022/2555 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on measures for a high common level of cybersecurity across the Union (NIS2 Directive). Official Journal of the European Union, L 333, 27.12.2022.

[17] Directive (EU) 2022/2557 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on the resilience of critical entities. Official Journal of the European Union, 2022.

[18] Lilov V., Konstantinova E., Tsankov Ts. Cyber intelligence in protecting organizations from malicious activity. International Scientific Conference “Defense Technologies” DefTech 2020, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, Shumen, 2020, ISSN 2367-7902, pp. 386–392.

[19] Stefanova, A. Flood risk assessment and management under directive 2007/60/EU: geodetic approaches and digital technologies for effective prevention. Environment. Technology. Resources, Proceedings of the 16th

International Scientific and Practical Conference, Rezekne, Latvia, 19–20 June 2025, Vol. 4, pp. 393–397, ISSN 2256-070X. https://doi.org/10.17770/etr2025vol4.8402

[20] Todorova-Lazarova V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

[21] Stefanova, A. The Role of Geodesy in Military Operations: Historical Development and Modern Use. Security and Defense Scientific Journal, Year IV, Issue 1, 2025, pp. 213–222, ISSN 2815-388X, ISSN 2815-4584. https://doi.org/10.70265/PXBB9124

[22] Stefanova, A. Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. Proceedings of the International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering ArCivE 2025, Varna, Vol. 5, 2025, pp. 311–317, ISSN 2535-0781.

[23] Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (GDPR).

[24] Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act).

[25] OECD. Government at a Glance 2025. Paris: OECD Publishing, 2025.

[26] OECD. Recommendation of the Council on Digital Government Strategies. OECD/LEGAL/0406.

[27] European Commission. Digital Decade Policy Programme 2030. European Union.

[28] NATO. NATO 2022 Strategic Concept. Brussels: NATO, 2022.

[29] World Economic Forum. The Global Risks Report 2026. Geneva: World Economic Forum, 2026.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR INCREASING ADMINISTRATIVE SECURITY: OPPORTUNITIES, RISKS AND AUTHOR'S MODEL*

ILIANA K. SIMEONOVA

ABSTRACT: *The paper examines the role of artificial intelligence as a tool for increasing administrative security in the context of digital transformation of public administration, examines the main possibilities for applying artificial intelligence in identifying threats, analyzing information flows, assessing risks, supporting management decisions and responding to incidents. The main risks and vulnerabilities associated with the use of AI in the administrative environment are also analyzed, including data inaccuracy, algorithmic errors, information security breaches, unauthorized access, excessive automation and insufficient human control. On this basis, the author's model "5I" has been developed, including five interrelated elements: Identification, Intelligent Analysis, Risk Identification, Intervention and Institutional Control. The model presents a cyclical approach to integrating artificial intelligence into the administrative security system, in which technological capabilities are combined with the expert judgment of the administrative officer and institutional control.*

KEYWORDS: *artificial intelligence, administrative security, administrative environment, risk management, information security, cybersecurity, administrative processes, algorithmic analysis, institutional control, model "5I"*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26IKM

ИЗКУСТВЕНИЯТ ИНТЕЛЕКТ КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА АДМИНИСТРАТИВНАТА СИГУРНОСТ: ВЪЗМОЖНОСТИ, РИСКОВЕ И АВТОРСКИ МОДЕЛ

ИЛИАНА К. СИМЕОНОВА

АБСТРАКТ: *В разработката се изследва ролята на изкуствения интелект като инструмент за повишаване на административната сигурност в условията на цифрова трансформация на публичната администрация. Разглеждат се основните възможности за приложение на изкуствения интелект при идентифициране на заплахи, анализ на информационни потоци, оценяване на рискове, подпомагане на управленските решения и реагиране при възникване на инциденти. Анализират се и основните рискове и уязвимости, свързани с използването на ИИ в административна среда, включително неточност на данните, алгоритмични грешки, нарушения на информационната сигурност, неоторизиран достъп, прекомерна автоматизация и недостатъчен човешки контрол. На тази основа е разработен авторският модел „5И“, включващ пет взаимосвързани елемента: Идентификация, Интелигентен анализ, Идентифициране на риска, Интервенция и Институционален контрол. Моделът представя цикличен подход за интегриране на изкуствения интелект в системата за административна сигурност, при който технологичните възможности се съчетават с експертната преценка на административния служител и институционалния контрол.*

Въведение

В условията на ускорена цифрова трансформация изкуственият интелект (ИИ) се утвърждава като един от ключовите технологични фактори, променящи начина, по който

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

публичните институции събират, обработват, анализират и използват информация. Неговото навлизане в административната среда създава предпоставки за автоматизиране на процеси, откриване на закономерности в големи масиви от данни, прогнозиране на рискови ситуации и подпомагане на управленските решения. Наред с технологичните възможности обаче се разширява и спектърът от заплахи, свързани със защитата на информационните ресурси, сигурността на данните, надеждността на алгоритмичните решения и необходимостта от ефективен човешки контрол.

Използването на изкуствен интелект в административната сигурност има потенциал да подпомогне идентифицирането и оценяването на заплахи чрез анализ на големи обеми от структурирани и неструктурирани данни, откриване на аномалии, ранно предупреждение за потенциални инциденти и автоматизирано подпомагане на процесите по управление на риска. Примери от други области са прогнозирането на радиационни нива в реално време [12] и разпознаването на обекти в оптични изображения чрез невронни мрежи в MATLAB [6]. Особено значение придобиват приложенията, свързани с мониторинг на информационни потоци, откриване на необичайно поведение, анализ на уязвимости, управление на достъпа и подпомагане на действията при инциденти. По този начин ИИ може да се превърне от инструмент за автоматизация в елемент на цялостна система за превенция и повишаване на устойчивостта на административната среда.

В същото време използването на ИИ поражда нови рискове, които не могат да бъдат пренебрегвани. Сред тях се открояват възможността за използване на манипулирани или непълни данни, алгоритмични грешки и пристрастия, недостатъчна прозрачност на автоматизираните решения, нарушения на изискванията за защита на личните данни, компрометиране на модели и системи, както и прекомерна зависимост от автоматизирани механизми. Допълнителен аспект представлява необходимостта от ясно разпределение на отговорността между технологичните системи и административните служители, тъй като автоматизацията не елиминира необходимостта от човешка преценка, контрол и отчетност.

Актуалността на доклада се определя от необходимостта публичната администрация да съчетава технологичните предимства на изкуствения интелект с изискванията за сигурност, законосъобразност, прозрачност, надеждност и устойчивост на административните процеси. В тази връзка особено важно е разработването на системен подход, при който внедряването на ИИ не се разглежда изолирано като технологична иновация, а като част от цялостна архитектура на административната сигурност.

Целта на настоящия доклад е да се анализират възможностите за използване на изкуствения интелект като инструмент за повишаване на административната сигурност, да се идентифицират основните рискове, свързани с неговото приложение, и въз основа на анализа да се предложи **авторски модел за интегриране на ИИ в системата за управление и защита на административната среда**.

Научната и практическата значимост на доклада се свързва с възможността да се предложи приложим модел за интегриране на изкуствения интелект в системата за административна сигурност, при който технологичната ефективност се съчетава с превенция на рисковете, човешки надзор, защита на информацията и устойчивост на административните процеси. По този начин ИИ може да бъде разглеждан не само като средство за оптимизация на административната дейност, а като стратегически инструмент за повишаване на способността на администрацията да идентифицира, предотвратява и управлява съвременните рискове за сигурността.

1 Теоретични основи на изкуствения интелект и административната сигурност

Изкуственият интелект представлява съвкупност от технологии и методи, чрез които информационните системи могат да изпълняват задачи, изискващи анализ на информация, разпознаване на закономерности, обучение и подпомагане на вземането на решения [11, 15]. В административната среда неговото значение се определя от възможността за обработване на големи обеми данни и автоматизирано идентифициране на отклонения, зависимости и потенциални рискове. Програмните модели за автоматизиране на когнитивни процеси са анализирани в [2], а подпомагането на разработката на Web приложения чрез когнитивна машина е разгледано в [1].

В този контекст изкуственият интелект може да изпълнява ролята на инструмент за превенция и ранно откриване на рискове. Чрез анализ на данни и поведенчески модели той може да подпомага установяването на аномалии, подозрителни действия и потенциални заплахи, както и да подобрява процесите по оценка и управление на риска.

Същевременно интегрирането на ИИ създава нови уязвимости – свързани с качеството на данните, алгоритмичните грешки, защитата на личната и служебната информация, прозрачността на автоматизираните решения и необходимостта от човешки контрол. Поради това ефективното използване на ИИ в административната сигурност изисква балансиран подход, при който технологичните възможности се съчетават с ясни правила, контролни механизми и отговорност на човешкия фактор.

Следователно изкуственият интелект следва да бъде разглеждан не само като средство за автоматизация, а като **компонент на съвременната система за управление на административната сигурност**.

2 Възможности за приложение на изкуствения интелект за повишаване на административната сигурност

Използването на изкуствен интелект създава значителни възможности за повишаване на ефективността и устойчивостта на административната сигурност. Основното предимство се свързва със способността на ИИ да обработва големи обеми информация за кратко време и да идентифицира закономерности, които трудно могат да бъдат установени чрез традиционни методи.

Една от основните области на приложение е **ранното откриване на заплахи и аномалии**. Чрез анализ на информационни потоци и поведенчески модели ИИ може да подпомага установяването на необичайни действия, опити за неоторизиран достъп и други индикатори за потенциални инциденти.

Друга възможност е свързана с **управлението и оценката на риска**. Анализът на исторически и текущи данни позволява да се определят рискови тенденции и да се подпомага приоритизирането на мерките за защита. Това създава предпоставки за преминаване от предимно реактивен към по-превантивен модел на управление на сигурността. Насоки за управление на риска при ИИ предоставя ISO/IEC 23894:2023 [14], а профилът на NIST разглежда специфично рисковете при генеративния ИИ [8]. Алгоритъм за оценка на оперативния риск в „Български пощи“ е предложен в [17].

ИИ може да подпомага и **мониторинга на административните процеси**, включително обработката на документи, анализирането на информационни потоци и откриването на несъответствия. Особено значение има възможността за автоматизирано проследяване на множество процеси и генериране на сигнали при установяване на

отклонения. Автоматизацията и изграждането на информационни системи за оптимизация на социално-педагогически дейности са разгледани в [10].

Съществено приложение представлява и **подпомагането на управленските решения**. Чрез анализ и структуриране на информацията ИИ може да предоставя на административните ръководители допълнителна основа за оценка на рисковете и избор на подходящи мерки. Обработката и анализът на данни чрез динамични масиви в MS Excel са разгледани в [18]. Крайното решение обаче следва да остане в компетентността на отговорното длъжностно лице.

В обобщение, основните възможности на ИИ в административната сигурност могат да бъдат представени чрез четири направления: **идентифициране на заплахи, оценка на риска, мониторинг на процесите и подпомагане на управленските решения**. Тяхното ефективно използване предполага интегриране на технологичните решения в цялостна система за управление на сигурността.

3 Рискове и уязвимости при използване на ИИ в администрацията

Внедряването на изкуствен интелект в административната среда създава нови възможности за повишаване на ефективността, но едновременно с това формира и нов спектър от рискове и уязвимости. Те могат да произтичат както от технологичните характеристики на ИИ системите, така и от начина, по който те се внедряват, управляват и използват от административните служители.

Сред основните *рискове* се открояват неправилното или непълно интерпретиране на данни, генерирането на неточни резултати, алгоритмичните отклонения, нарушаването на изискванията за защита на информацията и личните данни, както и прекомерната зависимост от автоматизирани решения. Особено значение има рискът от използване на недостоверни или манипулирани данни, тъй като качеството на резултатите от ИИ пряко зависи от качеството на информацията, върху която системата функционира.[4]

Уязвимостите могат да бъдат разграничени на технологични, организационни, информационни и човешки. Технологичните включват недостатъчна защита на ИИ системите, уязвимости в софтуера, неправилно конфигурирани системи и недостатъчен контрол върху достъпа. Организационните са свързани с липсата на ясни правила, процедури и отговорности при използването на ИИ.

Информационните уязвимости се проявяват при недостатъчна защита на данните, използвани за обучение и функциониране на системите, както и при възможност за неоторизирано извличане или промяна на информация. От своя страна човешкият фактор може да бъде източник на уязвимост вследствие на недостатъчна подготовка, неправилно използване на ИИ инструменти или некритично приемане на генерираните резултати. Когнитивните и етичните грешки при научно рецензиране с ИИ са разгледани в [5], а FMEA за оценка на човешката надеждност в [16].

Особено предизвикателство представлява *непрозрачността* на някои алгоритмични решения, при която трудно може да бъде установено защо системата е достигнала до определен резултат. Това поставя въпроси относно контрола, отчетността и възможността за човешка намеса при решения, които могат да имат административни последици.

Следователно сигурното използване на ИИ в администрацията изисква комплексен подход, включващ технологична защита, управление на достъпа, качество и защита на данните, ясни организационни правила, обучение на служителите и *задължителен човешки контрол.* Именно взаимодействието между тези елементи създава предпоставки за

ограничаване на рисковете и повишаване на устойчивостта на административната сигурност.

4 Авторски модел „5И“ за повишаване на административната сигурност чрез изкуствен интелект и неговото практическо приложение в администрации.

Въз основа на анализа на възможностите, рисковете и уязвимостите при използването на изкуствен интелект в административна среда се предлага **авторски модел „5И“ за повишаване на административната сигурност**. Моделът обединява пет взаимосвързани етапа, чрез които ИИ може да подпомогне процеса от установяването на потенциална заплаха до предприемането на защитни действия и осъществяването на институционален контрол.

И1- Идентификация: Първият етап е свързан с идентификацията на активи, процеси, заплахи, уязвимости и аномалии в административната среда. Изкуственият интелект може да подпомага обработването на големи обеми информация и да открива отклонения. И1 анализира наличните информационни потоци и установява необичайно поведение – например многократни опити за достъп от нетипично устройство или в необичаен времеви интервал е обичайно поведение или потенциални индикатори за нарушение на сигурността.

И2 - Интелигентен анализ: На втория етап се извършва интелигентен анализ на събраната информация. Чрез алгоритми за обработка и анализ на данни ИИ може да установява зависимости, закономерности и взаимовръзки между различни фактори. По този начин се създава информационна основа за по-точна оценка на състоянието на

административната сигурност. При И2 системата съпоставя установеното поведение с налични данни за предходни действия, модели на поведение и други индикатори, за да определи характера и потенциалната значимост на отклонението.

И3 - Идентифициране на риска: Третият етап представлява идентифициране и оценяване на риска. На базата на резултатите от анализа се определят потенциалните заплахи, уязвимости, вероятността от тяхното реализиране и възможното въздействие върху административните процеси. ИИ може да подпомага приоритизирането на рисковете и определянето на областите, изискващи повишено внимание. При И3 се оценява вероятността необичайното поведение да представлява реална заплаха и се определя потенциалното въздействие върху административната система, информацията и предоставяните услуги.

И4 - Интервенция: Четвъртият етап е свързан с интервенцията, т.е. предприемането на конкретни действия за предотвратяване, ограничаване или неутрализиране на установените рискове. В зависимост от характера на заплахата това може да включва генериране на предупреждения, ограничаване на достъпа, допълнителна проверка, активиране на защитни механизми или подпомагане на действията при инцидент. При решения с административни последици интервенцията следва да бъде подложена на подходящ човешки контрол, който включва предприемане на защитни действия. В зависимост от установения риск могат да бъдат приложени временно ограничаване на достъпа, допълнителна идентификация на потребителя, генериране на предупреждение или активиране на процедура за реакция при инцидент.

И5 - Институционален контрол: Петият етап представлява институционалният контрол, който осигурява законосъобразното, сигурното и отговорното използване на ИИ. Той включва човешки надзор, определяне на отговорности, контрол върху достъпа и

данните, проследимост на действията, периодична оценка на системата и проверка на резултатите от автоматизираните процеси. При И5 компетентните длъжностни лица извършват проверка на инцидента, оценяват предприетите действия и при необходимост актуализират правилата, процедурите и механизмите за защита. Резултатите от контрола се използват за усъвършенстване на последващата идентификация и анализ.

Практическото приложение показва, че моделът „5И“ позволява да се изгради **непрекъснат цикъл на превенция, анализ, реакция и контрол**, при който изкуственият интелект подпомага администрацията в откриването и управлението на рисковете, а институционалният и човешкият контрол гарантират отговорното използване на технологиите.

Моделът може да бъде приложен и при други ситуации – фишинг атаки, компрометирани потребителски профили, изтичане на информация, необичайни финансови операции, злоупотреба с административни ресурси или нарушения в електронните административни услуги.

Особеност на модела „5И“ е неговият **цикличен характер**. Институционалният контрол не представлява крайна точка, а формира обратна връзка към процеса на идентификация и анализ. Получените резултати, установените слабости и настъпилите инциденти могат да бъдат използвани за актуализиране на системите, процедурите и критериите за оценка на риска.

По този начин моделът „5И“ изгражда последователна логика:

ИДЕНТИФИКАЦИЯ → ИНТЕЛИГЕНТЕН АНАЛИЗ → ИДЕНТИФИЦИРАНЕ НА РИСКА → ИНТЕРВЕНЦИЯ → ИНСТИТУЦИОНАЛЕН КОНТРОЛ

Предложеният модел може да се използва като концептуална рамка за интегриране на изкуствения интелект в системата за административна сигурност, като съчетава технологичните възможности на ИИ с управлението на риска, човешкия надзор и институционалната отговорност.

Таблица 1: *Авторски модел „5И“ за повишаване на административната сигурност чрез ИИ*

Етап	Компонент на модела	Основно съдържание	Роля на ИИ	Очакван резултат
И1	**Идентификация**	Установяване на заплахи, уязвимости, аномалии и критични процеси	Откриване на отклонения и подозрително поведение	Ранно установяване на потенциални заплахи
И2	**Интелигентен анализ**	Обработка и съпоставяне на големи обеми информация	Анализ на данни, зависимости и поведенчески модели	Получаване на аналитична основа за оценка
И3	**Идентифициране на риска**	Определяне на вероятност, въздействие и приоритет на риска	Подпомагане на оценката и класифицирането на риска	Определяне на критичните рискове
И4	**Интервенция**	Предприемане на превантивни и защитни действия	Генериране на предупреждения и подпомагане на реакцията	Ограничаване или предотвратяване на негативните последици
И5	**Институционален контрол**	Човешки надзор, отчетност, проверка и обратна връзка	Подпомагане на мониторинга и проследимостта	Сигурно и отговорно използване на ИИ

5 Препоръки за използване на изкуствения интелект в административна среда

Ефективното използване на изкуствения интелект в административната среда изисква съчетаване на технологични възможности с организационни, правни и контролни механизми. Въз основа на анализа и предложения модел „5И“ могат да бъдат формулирани следните основни препоръки:

1. Използването на ИИ следва да бъде предшествано от оценка на конкретните административни потребности, рискове и потенциални последици. Необходимо е ясно да се определят целите, обхватът и допустимите граници на използване на системата.
2. Администрациите следва да изграждат механизми за качество, защита и проследимост на данните, тъй като неточните или манипулирани данни могат да доведат до неправилни резултати и управленски решения.
3. Необходимо е въвеждането на задължителен човешки контрол при използване на ИИ в процеси, които могат да имат съществено административно или правно въздействие върху гражданите. GDPR предвижда специални гаранции при решения, основани единствено на автоматизирана обработка, включително възможност за човешка намеса при приложимите хипотези.
4. Следва да се извършва периодична оценка на риска и сигурността на ИИ системите през целия им жизнен цикъл. Подобен риск-базиран подход е заложен и в NIST AI Risk Management Framework, който разглежда управлението на риска като непрекъснат процес при проектиране, внедряване, използване и оценяване на ИИ системите.[3]
5. Необходимо е служителите да бъдат обучавани както за възможностите на ИИ, така и за неговите ограничения. Особено важно е да се развиват умения за критична оценка на генерираните резултати, разпознаване на грешки и предотвратяване на неправомерно използване на чувствителна информация. Приложението на ИИ в обучението по геодезия е разгледано като отделен образователен пример в [9].
6. Администрациите следва да прилагат принципи на прозрачност, сигурност и отчетност. При системи с по-висок риск трябва да има ясно определени отговорности, процедури за контрол и възможност за проследяване на действията и резултатите. Европейският AI Act въвежда специфични изисквания за високорисковите системи, включително изисквания, свързани с управление на риска и човешки надзор.[7]
7. Използването на ИИ следва да бъде интегрирано в съществуващата система за информационна и киберсигурност на администрацията, а не да се развива като изолирана технологична дейност. Съвременните киберзаплахи са разгледани в [19].

Прилагането на този цикъл позволява да се съчетаят възможностите на ИИ за бърз анализ и откриване на отклонения с човешката преценка, институционалната отговорност и механизмите за контрол. Като допълнителна организационна рамка може да бъде използван и ISO/IEC 42001:2023, който определя изисквания за система за управление на изкуствения интелект и е приложим и към публични организации [13].

Таблица 2: *Връзката между петте „И“ и административната сигурност*

Компонент	Основен въпрос	Ключов механизъм за сигурност
Идентификация	Какво се случва?	Откриване
Интелигентен анализ	Какво показват данните?	Анализиране
Идентифициране на риска	Каква е заплахата и какво е въздействието?	Оценяване
Интервенция	Как трябва да се реагира?	Предотвратяване и ограничаване
Институционален контрол	Кой контролира процеса и резултата?	Надзор и отчетност

Таблица 3: *Основни рискове при използването на изкуствен интелект в администрацията*

№	Основен риск	Проявление в административната среда	Потенциални последици	Основна мярка за ограничаване
1	**Неточност на данните и резултатите**	Използване на непълни, неактуални или некоректни данни	Неправилни анализи и административни решения	Контрол на качеството и актуалността на данните
2	**Алгоритмични грешки и пристрастия**	Некоректни или едностранчиви резултати от алгоритмите	Неравнопоставено третиране и неправилна оценка на случаи	Тестване, периодичен одит и човешки контрол
3	**Изтичане на информация**	Неправомерно разкриване или извличане на служебни и лични данни	Нарушаване на поверителността и правни последици	Криптиране, контрол на достъпа и защита на данните
4	**Кибератаки срещу ИИ системи**	Манипулиране, компрометиране или блокиране на системата	Нарушаване на функционирането на административни услуги	Киберзащита, мониторинг и реакция при инциденти
5	**Неоторизиран достъп**	Достъп до ИИ системи или данни от неправоспособни лица	Злоупотреба с информация и административни ресурси	Автентикация, управление на права и проследимост
6	**Липса на прозрачност**	Трудно установяване на начина, по който ИИ достига до определен резултат	Затруднен контрол и ограничена отчетност	Документиране, обяснимост и човешки надзор
7	**Прекомерна автоматизация**	Некритично приемане на решенията на ИИ	Намаляване на човешкия контрол и увеличаване на грешките	Ясно определени граници на автоматизацията
8	**Злоупотреба от служители**	Използване на ИИ извън определените цели или процедури	Компрометиране на информация и административни процеси	Вътрешни правила, обучение и контрол
9	**Зависимост от технологични системи**	Невъзможност за нормална работа при отказ или прекъсване на ИИ	Нарушаване на непрекъснатостта на административната дейност	Резервни процедури и планове за непрекъсваемост

№	Основен риск	Проявление в административната среда	Потенциални последици	Основна мярка за ограничаване
10	**Недостатъчна компетентност**	Липса на знания за възможностите и ограниченията на ИИ	Неправилно използване и интерпретиране на резултатите	Обучение и повишаване на дигиталната компетентност
11	**Нарушаване на нормативни изисквания**	Използване на ИИ без съобразяване с приложимите правила	Правни, финансови и репутационни последици	Правна оценка, процедури и институционален контрол
12	**Манипулиране на входната информация**	Подаване на подвеждащи или злонамерено променени данни	Генериране на неправилни анализи и решения	Валидация на данните и многостепенен контрол

Таблица 4: *Взаимодействие между ИИ, административния служител и системата за сигурност*

№	Етап на взаимодействие	Роля на ИИ	Роля на административния служител	Роля на системата за сигурност	Резултат
1	**Събиране на информация**	Обработва и структурира данни от различни източници	Предоставя необходимата информация и определя допустимите източници	Осигурява защита на данните и контрол на достъпа	Надеждна информационна основа
2	**Идентификация**	Открива аномалии, отклонения и потенциални заплахи	Проверява и интерпретира установените отклонения	Регистрира и сигнализира за събитията по сигурността	Ранно откриване на заплахи
3	**Интелигентен анализ**	Анализира зависимости, модели и поведенчески характеристики	Оценява резултатите и преценява тяхната релевантност	Предоставя данни за състоянието на системите и защитата	Аналитична оценка на ситуацията
4	**Идентифициране на риска**	Подпомага определянето на вероятност и потенциално въздействие	Определя значимостта на риска в административния контекст	Съпоставя риска с действащите мерки за защита	Приоритизирани рискове
5	**Вземане на решение**	Предлага варианти за действие въз основа на анализа	Взема или потвърждава административното решение	Осигурява съответствие с правилата и процедурите за сигурност	Контролирано решение
6	**Интервенция**	Генерира предупреждения и подпомага автоматизирани защитни действия	Избира и реализира подходящата реакция	Ограничава достъп, блокира заплахи и активира процедури за реакция	Ограничаване на негативните последици

№	Етап на взаимодействие	Роля на ИИ	Роля на административния служител	Роля на системата за сигурност	Резултат
7	**Контрол и наблюдение**	Следи за промени и нови отклонения	Осъществява човешки контрол и проверява резултатите	Наблюдава състоянието на системите и регистрира действията	Непрекъснат контрол
8	**Обратна връзка**	Използва новите данни за усъвършенстване на анализа	Оценява ефективността на предприетите действия	Актуализира мерките и процедурите за сигурност	Повишаване на устойчивостта

Таблица 4 показва, че **изкуственият интелект не замества административния служител**, а функционира като аналитичен и подпомагащ инструмент в рамките на системата за сигурност. Взаимодействието може да бъде представено като:

ИИ → Анализ и сигнализиране → Административен служител → Решение и контрол → Система за сигурност → Обратна връзка → ИИ

Заключение

Изкуственият интелект се превръща във важен технологичен инструмент за трансформиране на административните процеси и за повишаване на способността на администрацията да идентифицира и управлява рискове. Неговото приложение позволява обработване на значителни информационни масиви, откриване на аномалии, подпомагане на оценката на риска и своевременно предприемане на защитни действия.

Наред с тези възможности използването на ИИ създава и нови рискове, свързани с качеството и сигурността на данните, алгоритмичните грешки, прозрачността, защитата на личната информация и прекомерната зависимост от автоматизирани резултати. Поради това технологичното внедряване следва да бъде съпроводено с ясни правила, оценка на риска, обучение на служителите и ефективен институционален и човешки контрол.

Предложеният в разработката **авторски модел „5И“** – *Идентификация, Интелигентен анализ, Идентифициране на риска, Интервенция и Институционален контрол* – представя цикличен подход за интегриране на ИИ в системата за административна сигурност. Неговата практическа стойност се състои в обвързването на технологичния анализ с процесите по оценяване на риска, реакция и последващ контрол.

В резултат може да се приеме, че ефективното използване на ИИ в административна среда не се определя единствено от технологичните характеристики на системите, а от способността на институцията да ги интегрира в цялостна система за управление на сигурността. Именно съчетаването на **изкуствен интелект, човешка експертиза, управление на риска и институционален контрол** създава предпоставки за изграждане на по-сигурна, устойчива и адаптивна административна среда.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Атанасов В. Един подход за подпомагане разработването на web приложения чрез когнитивна машина. Годишник на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“, Том XIV Е, 2024, ISSN 1314-8818 (Print), публикуван през 2025 г. https://doi.org/10.46687/AN24FTN

[2] Атанасов В., Иванова А. Анализ на програмните модели за автоматизиране на когнитивни процеси. Стратегии на образователната и научната политика, Vol. 32, № 5s, 2024, ISSN 1310-0270. https://doi.org/10.53656/str2024-5s-24-ana

[3] Европейски парламент и Съвет на Европейския съюз. (2024) Регламент (ЕС) 2024/1689, който определя хармонизирани правила за изкуствения интелект (Закон за изкуствения интелект). Официално издание на Европейския съюз.

[4] Европейски парламент и Съвет на Европейския съюз. (2016) Регламент (ЕС) 2016/679 – Общ регламент за защита на данните (GDPR). Официално списание на Европейския съюз.

[5] Nikolova S., Tsankov Ts. Cognitive and ethical failures in AI-based scientific reviewing. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 28, 2025, ISSN 1314-6289, pp. 207–215. https://doi.org/10.46687/jsar.v28i1.438

[6] Манов Л. Е. Съвременни технологии с изкуствен интелект за разпознаване на обекти с военно предназначение в оптични изображения: Компютърен експеримент с невронни мрежи в MATLAB. DefTech 2025, 2025, с. 714–722. ISSN 2815-4282.

[7] Национален институт по стандарти и технологии. (2023) Рамка за управление на риска чрез изкуствен интелект (AI RMF 1.0) NIST AI 100-1 Гейтърсбърг, Мериленд.

[8] Национален институт по стандарти и технологии. (2024) Рамка за управление на риска при изкуствен интелект: Профил на генеративен изкуствен интелект. NIST AI 600-1

[9] Стефанова А. Приложение на изкуствения интелект в обучението по геодезия. Трета национална научно-практическа конференция „Дигитална трансформация на образованието – проблеми и решения“, Русе, 24–25 април 2025, с. 415–419, ISSN 3033-0610, ISSN 3033-0629.

[10] Chervenkova S., Denev D. Automation and Construction of Information Systems for Optimization of Socio-Pedagogical Activities. Proceedings of the International Scientific Conference Defense Technology Forum, National Military University “Vasil Levski”, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, Shumen, 2025, ISSN 2815-4282, pp. 883–890.

[11] Dimitrova E., Denev D. The Development of Artificial Intelligence and its Applications in the Modern World. Scientific Conference with International Participation MATTEH 2024, Conference Proceedings, Vol. 2, Communication and Computer Technologies, Shumen, 2024, ISSN 1314-3921, pp. 153–160.

[12] Docheva A., Denev D. Using AI to Predict Radiation Levels in Real Time. Proceedings of the International Scientific Conference “Radiation Safety in the Modern World”, Vol. 1, National Military University “Vasil Levski”, Veliko Tarnovo, 2025, ISSN 2738-7607, pp. 213–223.

[13] ISO (2023) ISO/IEC 42001:2023 Информационни технологии – Изкуствен интелект – Система за управление. Международна организация за стандартизация.

[14] ISO (2023) ISO/IEC 23894:2023 Информационни технологии – Изкуствен интелект – Насоки за управление на риска. Международна организация за стандартизация.

[15] Ръсел, С., Норвиг, П. (2021) Изкуствен интелект: Модерен подход. 4-то издание. Пиърсън.

[16] Arabadzhieva-Kalcheva N., Tsankov Ts., Todorova M., Marinova G. Application of Failure Mode and Effects Analysis for Evaluating Human Reliability. Scientific Conference with International Participation MATTEH 2024, Conference Proceedings, Vol. 2, Shumen, 2024, ISSN 1314-3921, pp. 147–152. https://doi.org/10.46687/BOIK9859

[17] Stoyanov, A., Kazakov, S., Kodzheykova, V. Algorithm of operational risk assessment of Bulgarian posts PLC. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 23, 2022, pp. 105–113, ISSN 1314-6289.

[18] Todorova-Lazarova, V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

[19] Nikolov, L., Slavyanov, K. On the Contemporary Cybersecurity Threats. Proceedings of the First International Scientific Conference CONFSEC 2017, Borovets, 11–14 December 2017, pp. 142–144, ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

MODELING AND ANALYSIS OF FAILURES IN COMPUTER NETWORKS USING CAUSE-AND-CONSEQUENCE METHODS*

NELI A. ARABADZHIEVA-KALCHEVA, TSVETOSLAV S. TSANKOV

ABSTRACT: *The paper presents an integrated fault tree and event tree model for network service unavailability. A redundant-link network with a common-cause failure and an imperfect automatic failover mechanism is investigated. Five hypothetical infrastructure scenarios are evaluated using exact Boolean probability expressions and Monte Carlo simulation with three million trials per scenario. The effect of redundancy, failover reliability and shared infrastructure faults on service availability is quantified. The results demonstrate the value of combining causal modeling and probabilistic verification for selecting reliability improvements. All input probabilities are illustrative rather than field measurements.*

KEYWORDS: *computer networks, fault tree analysis, event tree analysis, network reliability, redundancy, Monte Carlo simulation*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26NAT

МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ОТКАЗИ В КОМПЮТЪРНИ МРЕЖИ ЧРЕЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕНИ МЕТОДИ

НЕЛИ А. АРАБАДЖИЕВА-КАЛЧЕВА, ЦВЕТОСЛАВ С. ЦАНКОВ

АБСТРАКТ: *Предложен е модел за изследване на недостъпността на мрежова услуга, който съчетава дърво на отказите и дърво на събитията. Разгледана е мрежа с две комуникационни линии, общи точки на отказ и автоматично превключване към резервната линия. За пет моделни конфигурации са изчислени аналитични вероятности и са проведени по три милиона Монте Карло изпитвания. Анализирано е влиянието на резервирането, надеждността на превключването и общите причини за отказ. Резултатите илюстрират приложимостта на комбинираното моделиране при избор на мерки за повишаване на надеждността; използваните вероятности са хипотетични.*

1 Въведение

Надеждността на компютърните мрежи зависи не само от характеристиките на отделните устройства, но и от структурата на зависимостите между тях. Отказ на един елемент може да остане незабелязан при наличие на резервен път, докато обща причина, засягаща няколко елемента, може да обезсмисли резервирането. За обосновано планиране на защитни и възстановителни мерки са необходими модели, които разграничават причините за прекъсване от развитието на инцидента и последствията.

Анализът чрез дърво на отказите (Fault Tree Analysis, FTA) изследва логическите комбинации от базови събития, които предизвикват предварително зададено нежелано събитие [3]. Анализът чрез дърво на събитията (Event Tree Analysis, ETA) проследява възможните изходи след начално събитие и действието на възстановителните механизми [4]. Съвместното им приложение е регламентирано като възможен подход в методическите документи за надеждност [4, 5].

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

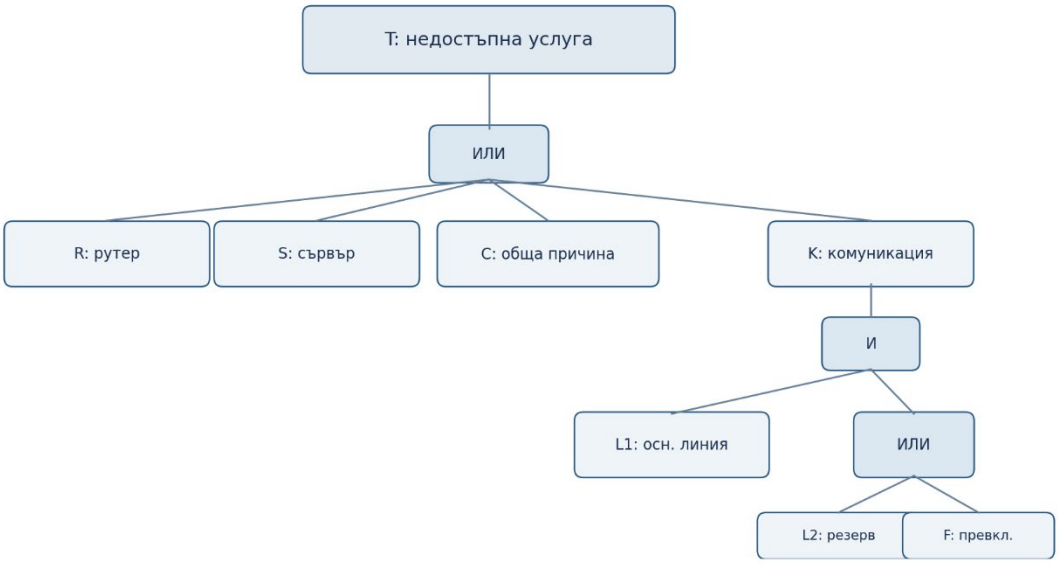
В предходни публикации авторите разглеждат оценяване на мрежови откази чрез FMEA [1] и причинно-следствен анализ на конкретен сценарий [2]. Настоящото изследване надгражда тези постановки, като въвежда изричен вероятностен модел на резервирана мрежа, изчислява вероятността за недостъпност при пет конфигурации и проверява резултатите чрез симулация. Целта е да се оцени как автоматичното превключване и общите точки на отказ влияят върху ползата от резервната комуникационна линия.

2 Модел и методи

Разглежда се условна корпоративна информационна услуга, достъпна през основна комуникационна линия L1 и резервна линия L2. За функционирането ѝ са необходими маршрутизатор R, приложен сървър S и обща инфраструктура C (например общо електрозахранване). При отказ на L1 системата използва L2, ако тя е налична и автоматичното превключване е успешно. F обозначава неуспешно превключване. Анализът се отнася за един предварително фиксиран наблюдателен интервал; събитията са двоични, а вероятностите им не представляват измерени стойности от действаща система.

Върховото събитие T е недостъпност на услугата. Логическата му структура е представена с булевия израз и с дървото на отказите на фиг. 1. Минималните сечения са {R}, {S}, {C}, {L1, L2} и {L1, F}. В модела общата причина C се отчита изрично и не се отъждествява с независимите откази на двете линии.

$$T = R \vee S \vee C \vee [L_1 \wedge (L_2 \vee F)] \tag{1}$$

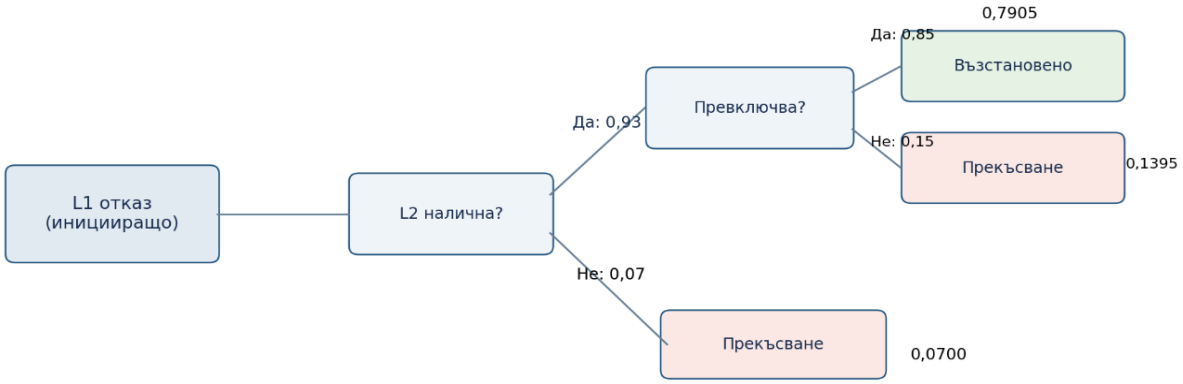


Фиг. 1. Логическа структура на дървото на отказите

При допускане за независимост на базовите събития вероятността за върховото събитие се определя чрез формула (2), където pX е вероятността за събитие X, а pF е условната вероятност за неуспешно превключване, когато то се изисква. Независимостта е моделиращо допускане; при реално приложение то трябва да бъде проверено.

$$p_T = 1 - (1 - p_R)(1 - p_S)(1 - p_C)\{1 - p_{L1}[p_{L2} + (1 - p_{L2})p_F]\} \tag{2}$$

За ЕТА се приема, че началното събитие е отказ на основната линия. Първо се проверява наличността на резервната линия, а след това — успехът на превключването. При pL2 = 0,07 и pF = 0,15 условната вероятност за възстановяване е (1−0,07)(1−0,15) = 0,7905; останалите два изхода са отказ на превключването при налична резерва (0,1395) и недостъпна резерва (0,0700). Трите изхода са взаимно изключващи се и сумата им е единица. Последователността на разклоненията и вероятностите за трите възможни изхода са представени на фиг. 2.



Фиг. 2. Дърво на събитията след отказ на основната линия

3 Постановка на изчислителния експеримент

Използвани са шест параметъра, избрани единствено за демонстриране на метода. Всички вероятности се отнасят до едно и също наблюдателно време; не са извеждани от реални журнали за инциденти или експлоатационна статистика. Стойностите са: pR = 0,020; pS = 0,015; pC = 0,010; pL1 = 0,060; pL2 = 0,070; pF = 0,150. Изследвани са пет сценария: (А) само основна линия; (Б) резервна линия със 85% успешно превключване; (В) подобрено превключване с 97% успех; (Г) сценарий В с по-надеждни R, S и C; (Д) сценарий Б с увеличена вероятност за общ отказ до pC = 0,040.

За сценарий Г се задават pR = 0,010, pS = 0,010 и pC = 0,005. Аналитичните вероятности се изчисляват по формула (2); за сценарий А отпада резервният път и L1 става единствено комуникационно условие. След това всеки сценарий се симулира чрез 3 000 000 независими Бернулиеви опита с фиксиран генератор NumPy (seed 20261031). В отделен опит се генерира състоянието на всеки базов елемент и се изчислява булевото T. Монте Карло оценката е отношението на броя откази към общия брой опити.

$$\hat{p}_T = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} 1(T_i), SE \approx \sqrt{\frac{\hat{p}_T(1-\hat{p}_T)}{N}} \quad (3)$$

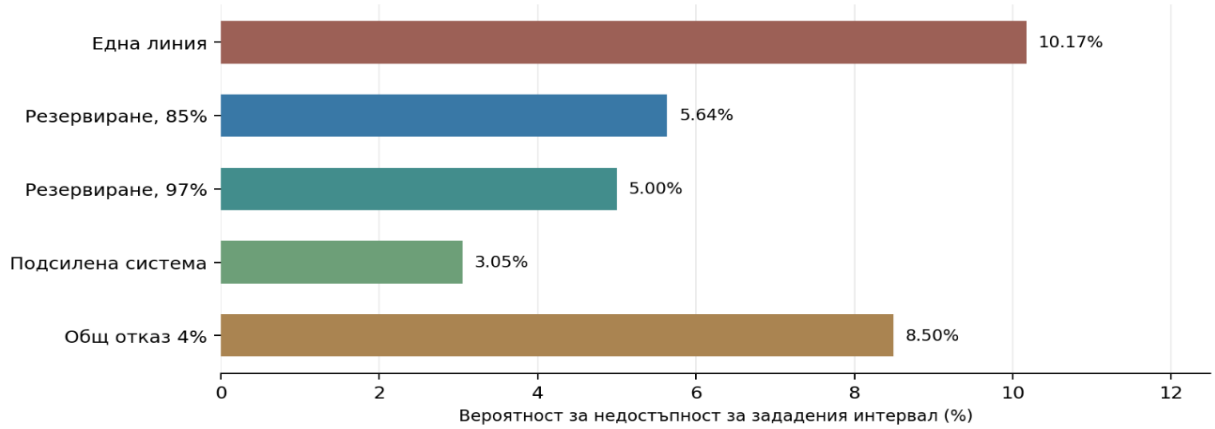
При представените N стойности приблизителният 95-процентен интервал е p̂T ± 1,96·SE. Това е интервал за случайното отклонение на симулацията при фиксирани входни параметри, а не интервал на доверие за действителната надеждност на реална мрежа. Изследванията върху Монте Карло оценяване на мрежова надеждност обосновават използването на симулационна проверка наред с аналитичните модели [6].

4 Резултати и анализ

Таблица 1. Сравнение на изчислените вероятности за недостъпност

Сценарий	Аналитично pT	Монте Карло p̂T	95% полуширина
А. Една линия	0,101692	0,101723	0,000342
Б. Резерва; 85% превключване	0,056365	0,056426	0,000261
В. Резерва; 97% превключване	0,049966	0,050036	0,000247
Г. Подсилена инфраструктура	0,030529	0,030611	0,000195
Д. Общ отказ pC = 0,04	0,084960	0,085013	0,000316

Резултатите в табл. 1 показват съвпадение на симулационните оценки с аналитичните вероятности в рамките на изчислените интервали. При добавяне на резервна линия (Б спрямо А) моделната вероятност за недостъпност намалява от 10,17% на 5,64%, т.е. приблизително с 44,6%. Увеличаването на надеждността на превключването от 85% на 97% (В спрямо Б) води до допълнително относително намаление с 11,4%. Резултатите за петте конфигурации са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Аналитична вероятност за недостъпност при пет конфигурации

Усилването на общите компоненти в сценарий Г намалява вероятността до 3,05%. Обратно, увеличаването на вероятността за общ отказ от 1% на 4% при непроменени комуникационни линии повишава pT от 5,64% до 8,50% (Д спрямо Б). Това показва, че само резервирането на линковете не е достатъчно, когато услугата зависи от едно захранване, маршрутизатор или сървър.

Логическата структура има и практическо значение: минималните сечения с един елемент {R}, {S}, {C} представляват единични точки на отказ. Сеченията {L1,L2} и {L1,F} показват кои комбинации остават критични дори при налична резервна линия. Следователно мерките могат да бъдат насочени към независими източници на захранване, резервирани маршрутизатори, отказоустойчиви сървъри и регулярно изпитване на превключването.

5 Дискусия и ограничения

FTA и ETA дават различни, но съгласувани гледни точки: FTA установява достатъчните комбинации от причини за недостъпност, а ETA описва разклоненията след конкретно начално събитие. Чрез свързването им може да се премине от качествено описание към проверими числови изводи. В подобни модели формалната проверка на вероятностните изрази и симулационното сравнение са утвърдени изследователски направления [7].

Резултатите имат ясно определени граници на приложимост: вероятностите са зададени условно; не се моделират продължителност на престоя, ремонти, времеви зависимости, претоварване и частична деградация. Общият отказ C е опростено представяне на зависимите причини; в реални мрежи може да има и корелации между линковете, поведенчески и конфигурационни грешки. Затова числата не трябва да се използват за прогнозиране на реална фирмена инфраструктура без калибриране с данни и допълнителна валидация.

При бъдещо развитие е целесъобразно да се използват измерени времена между откази и възстановяване, да се изследват зависимости в съвместно трасе и да се сравни моделът с изпитвания в мрежова виртуализация. Възможно е също допълване със състояния на деградация и времеви метрики за достъпност.

6 Заключение

Предложен е възпроизводим изчислителен подход за анализ на надеждността на мрежова услуга, който комбинира дърво на отказите, дърво на събитията, аналитично изчисляване на вероятности и Монте Карло симулация. При разгледаните хипотетични параметри резервната линия води до намаляване на вероятността за недостъпност, но ефектът ѝ е ограничен от надеждността на превключването и общите точки на отказ. Петте сценария позволяват да се различат ползата от резервиране и необходимостта от защита на общите компоненти. Моделът представлява основа за последваща оценка с действителни експлоатационни данни.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Arabadzhieva-Kalcheva, N., Tsankov, Ts. Failure Modes and Effects Analysis – FMEA. MATTEH 2022, Conference Proceedings, vol. 2 (2022), 58–62.

[2] Arabadzhieva-Kalcheva, N., Tsankov, Ts., Todorova, M. Cause-Consequence Analysis as a Risk Management Method. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, XIV E (2024), 184–188. DOI: 10.46687/YT24NEL.

[3] IEC 61025:2006. Fault Tree Analysis (FTA). International Electrotechnical Commission, Geneva (2006).

[4] IEC 62502:2010. Analysis Techniques for Dependability – Event Tree Analysis (ETA). International Electrotechnical Commission, Geneva (2010).

[5] IEC 31010:2019. Risk Management – Risk Assessment Techniques. International Electrotechnical Commission, Geneva (2019).

[6] Hui, K.-P., Bean, N., Kraetzl, M., Kroese, D. The Tree Cut and Merge Algorithm for Estimation of Network Reliability. Probability in the Engineering and Informational Sciences, 17(1) (2003), 23–45. DOI: 10.1017/S0269964803171021.

[7] Abdelghany, M., Ahmad, W., Tahar, S. Event Tree Reliability Analysis of Safety-Critical Systems Using Theorem Proving. IEEE Systems Journal, 16(2) (2022), 2899–2910. DOI: 10.1109/JSYST.2021.3077558.

AUTOMATION OF ROUTINE CYBERSECURITY OPERATIONS IN MODERN SECURITY OPERATIONS CENTERS*

STOYAN R. STOYANOV, TIHOMIR S. TRIFONOV

ABSTRACT: *The article examines opportunities to automate routine tasks in security operations centers (SOCs), including initial alert triage, log processing, threat intelligence enrichment, incident response, and reporting. It analyzes the applications of SIEM, SOAR, machine learning, and large language models, as well as their limitations related to errors, result verification, platform security, and data protection. Based on the literature reviewed, the article proposes a conceptual Task–Risk–Automation framework that maps SOC tasks to automation levels from L0 to L5 according to the verifiability of their outcomes, the consequences of errors, and the required degree of human oversight. The framework supports the selection of an appropriate level of automation but requires validation in a real operational environment.*

KEYWORDS: *Security Operations Center (SOC), Cybersecurity Automation, SOAR, SIEM, Large Language Models (LLMs), Human-in-the-Loop, Incident Response, Threat Intelligence*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26SRT

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА РУТИННИ ОПЕРАЦИИ ПО КИБЕРСИГУРНОСТ В СЪВРЕМЕННИТЕ ЦЕНТРОВЕ ЗА ОПЕРАЦИИ ПО СИГУРНОСТТА

СТОЯН Р. СТОЯНОВ, ТИХОМИР С. ТРИФОНОВ

АБСТРАКТ: *Статията разглежда възможностите за автоматизация на рутинни дейности в центровете за операции по сигурността (SOC), включително първоначална оценка на сигнали, обработка на логове, обогатяване с информация за заплахи, реагиране при инциденти и докладване. Анализирани са приложенията на SIEM, SOAR, машинното обучение и големите езикови модели, както и ограниченията им, свързани с грешки, проверка на резултатите, сигурност на платформите и защита на данните. Въз основа на разгледаната литература е предложена концептуална рамка „Задача–Риск–Автоматизация“, която съпоставя SOC задачи с нива на автоматизация от L0 до L5 според тяхната проверимост, последствията от грешка и необходимия човешки контрол. Рамката подпомага избора на подходяща степен на автоматизация, но се нуждае от проверка в реална оперативна среда.*

1 Въведение

Съвременните центрове за операции по сигурността (Security Operations Centers, SOC) са изправени пред нарастваща оперативна сложност, предизвикана от разширяването на корпоративната инфраструктура към крайни устройства, мрежи и облачни среди, които генерират големи обеми данни свързани със сигурността. От своя страна количеството и скоростта на постъпващите сигнали водят до все по-високо натоварване на анализаторите. Правилата за засичане на инциденти, които са конфигурирани с цел минимизиране на пропуснатите заплахи, в същото време могат да генерират значителен брой фалшиво положителни сигнали, делът на които може да достигне от 40% до 99% от всички сигнали [1], [2], [3], [4].

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

Данни от индустриални проучвания показват, че екипите по сигурността обработват около 49% от възложените им за деня сигнали, като приблизително 51% остават непроверени. Повтарящи се дейности като ръчен анализ на логове, проверки на репутация и създаване на заявки или тикети за инцидент допълнително увеличават натоварването. Разнообразието от инструменти налага често превключване между различни конзоли при възстановяване на хронологията на събитията [2], [5]. Сериозен проблем е недостига на специалисти и ниското ниво на умения по киберсигурност, както и изискванията за намаляване на средното време за откриване и средното време за реагиране на инциденти [3], [6], [7], [8].

Тези предизвикателства обуславят необходимостта от по-широкото прилагане на автоматизацията като средство за подпомагане, а не за заместване на човешката експертиза. Автоматизацията намалява натоварването от повтарящи се дейности, стандартизира първоначалната оценка на сигналите и освобождава капацитет за по-сложни дейности [1], [4], [9]. Тя може да се прилага на различни нива - от автоматизирано събиране, обработка на данни и изпълнение на работни процеси до използването на изкуствен интелект (ИИ) за анализ на заплахи и реагиране при инциденти.

Вместо да разглежда всички приложения на изкуствения интелект в киберсигурността, статията се фокусира върху защитни оперативни работни процеси, които влияят върху ефективността на SOC, натоварването на анализаторите и реакцията при инциденти.

2 Основни технологии

2.1. SIEM, SOAR и сценарии за реакция

Работата на платформите за управление на информацията и събитията по сигурността (Security Information and Event Management, SIEM) следва многоетапен процес на обработка [10]. Първичните телеметрични данни се събират от разнообразни източници, след което се анализират, нормализират и преобразуват в стандартизирани формати за централизирано индексиране [11]. Платформата използва предварително дефинирани правила, сигнатури и прагови стойности, за да корелира нормализираните събития с цел откриване на нарушения на политиките или злонамерени модели на поведение. Събитията, отговарящи на зададените условия, генерират сигнали или се групират в *инциденти*. SIEM системите разполагат с табла за визуализация и интерфейси за заявки, които улесняват търсенето в архивирани данни, анализа на цифрови доказателства, възстановяването на хронологията на атаките и установяването на следи от злонамерена дейност [1], [2], [10], [12].

Моделите, разчитащи единствено на SIEM, обаче имат съществени ограничения, [13]. Откриването, базирано на правила, може да генерира значителен обем фалшиво положителни сигнали и претоварване на опашките за анализ, което допринася за умората на анализаторите [14]. Статичните правила и сигнатури могат да доведат до зависимост, която да намали ефективността на откриване на нововъзникващи или сложни поведенчески заплахи. Освен това SIEM платформите са ориентирани основно към наблюдение и откриване и обикновено разполагат с ограничени възможности за оркестрация и автоматизирана реакция [1], [2], [3], [10], [13].

Оркестрацията, автоматизацията и реакцията при инциденти (Security Orchestration, Automation, and Response, SOAR) представлява интегриран технологичен подход за координиране и автоматизиране на операции по сигурността между разнородни инструменти, екосистеми на различни доставчици и човешки работни процеси [2]. В съвременните SOC SOAR преобразува разпокъсаните и ръчно изпълнявани процедури за

обработка на инциденти в стандартизирани, машинно изпълними работни процеси [13], [15].

SOAR платформите предоставят няколко основни възможности. Те оркестрират разнородни механизми за сигурност, включително EDR решения, защитни стени, мрежови сензори и системи за управление на идентичности, чрез API интерфейси, което позволява координирано изпълнение на действия [16]. Платформите изпълняват и машинно четими сценарии за реакция (playbooks), включително реализации, базирани на стандарти като OASIS CACAO (Collaborative Automated Course of Action Operations), за автоматизиране на предварително дефинирани процедури [17], [18]. Допълнително те обогатяват сигналите с информация за киберзаплахи, резултати от sandbox анализ, контекст за засегнатите активи, оценки на риска и съпоставяне с рамката MITRE ATT&CK (структурирана база от знания за тактиките и техниките на кибернападателите, подпомагаща откриването, анализа и разследването на заплахи) [13]; групират свързаните събития в отделни инциденти и позволяват проследяване на тяхното развитие и предприетите действия [2], [10]; координират многоетапни действия по ограничаване и отстраняване на последствията от атаките [2]; и изискват одобрение от анализатор преди изпълнението на действия, които могат да имат сериозни последствия [17], [19].

Сценариите за реакция (security playbooks) представляват предварително дефинирани, документирани и машинно четими набори от стандартни оперативни процедури (SOPs), които определят действията за ограничаване на конкретни киберзаплахи [17]. Автоматизацията на работни процеси изпълнява тези сценарии чрез програмна логика, API заявки и маршрутизиране на данни, като заменя ръчните операции с автоматизирани процеси [20], [21]. Чрез формализиране на повтарящите се процедури сценариите осигуряват повторяем и проследим процес на реакция при инциденти в рамките на SOC, като намаляват разликите в начина на изпълнение на задачите и осигуряват оеднаквен и последователен подход дори при ограничено време [18], [22].

2.2. AI, машинно обучение и LLM

Изкуственият интелект (AI), машинното обучение (ML) и големите езикови модели (LLM) все по-осезаемо разширяват възможностите на днешните SOC. Традиционните AI/ML методи, включително дървета на решенията (Decision Trees), случайните гори (Random Forest) и дълбоки невронни мрежи, се използват основно за разпознаване на модели и откриване на аномалии в структурирани телеметрични данни [2]. За разлика от тях LLM обработват неструктуриран естествен език: encoder-базирани модели като BERT са подходящи за класификация, докато decoder-базирани модели като GPT и LLaMA се използват за генеративни задачи. Генерирането, подпомогнато чрез извличане на информация (Retrieval-Augmented Generation, RAG) свързва LLM с външни бази от знания и актуален контекст за инцидента, като по този начин ограничава проблемите, свързани със статични обучаващи данни и халюцинации [8], [11], [12]. Агентните и многоагентните подходи допълнително комбинират LLM с памет, достъп до инструменти и координация между специализирани роли за изпълнение на многостъпков анализ по сигурността [6], [23].

В работните процеси в SOC тези технологии подпомагат няколко основни функции: класификация и приоритизиране на сигнали чрез оценяване на риска и филтриране на фалшиво положителни резултати [9], [11]; обобщаване на логове и контекстуално интерпретиране на активността, свързана с атаки; генериране на специфични за дадена платформа SIEM заявки на естествен език (включително AQL и YARA-L заявки); както и извличане на индикатори за компрометиране (Indicators of Compromise, IoC), препоръки за

отстраняване на последствията и възможни сценарии за реакция на базата на информация за киберзаплахи и исторически данни за инциденти [6], [8], [12], [24].

3 Рутинни SOC операции, подходящи за автоматизация

3.1. Първоначална оценка на сигнали и обработка на логове

Съвременните SOC срещат съществени оперативни трудности, предизвикани от обема, скоростта и разнообразието на постъпващите телеметрични данни [8], [12]. SIEM и платформите за откриване (IDS) често са конфигурирани така че да минимизират фалшиво отрицателните резултати. Това обаче може да допринесе за по-високи нива на фалшиво положителни сигнали, които във вторичната литература са отчетени между 40% и 99% [3]. Около 39% от анализаторите свързват претоварването в работата с прекомерния брой инструменти от различни доставчици [5]. Поради това първоначалната оценка на сигналите, включваща филтриране, дедупликация, определяне на критичност, класификация и насочване на сигналите, е особено подходяща за автоматизация заради високата си честота, повтаряемата структура, мащаба и чувствителността към времето [2], [9].

Ранните подходи използват детерминистични правила, агрегиране и графи на произхода на събитията. Рамки като NoDoze и Tactical Provenance Graphs възстановяват причинно-следствените зависимости между събитията и в архивни тестови данни отчитат намаляване на фалшивите сигнали с до 84%. Методите за машинно и дълбоко обучение (ML и DL), добавят контекстуално приоритизиране чрез подходи като дълбоки невронни мрежи (DNN), Case-Based Reasoning и Context2Vector [4]. Вторични обзори съобщават, че Context2Vector е удвоил пълнотата при откриване на нападатели в конкретни поведенчески контексти [2], въпреки че ML-базираната първоначална оценка трябва да осигурява баланс между откриването на възможно най-голям дял от действителните заплахи и ограничаването на фалшивите сигнали, които допълнително натоварват анализаторите [3].

По-нови изследвания прилагат LLM и автономни агенти за анализ на логове, извличане на IoC и генериране на насоки за първоначална оценка [24]. При пряка оценка върху 20 000 реални SIEM лога ансамблов LLM модел, използващ Syntax Query Metadata (SQM), намалява средното време за първоначална оценка от приблизително четири часа до под десет минути, като постига 82,8% точност при откриване, 0,120 коефициент на фалшиво положителни резултати и 88% успешно генерирани изпълними заявки [12]. Вторичната литература отчита macro-F1 стойност 0,87 и 2,4% критични грешки при класификация за Microsoft Copilot for Security Guided Response, докато симулирани CyberAlly агенти намаляват фалшиво положителните сигнали от 70% на 35% и средното време за реакция (MTTR) от 8 часа на 90 минути [6].

Автоматизираната първоначална оценка обаче създава рискове, свързани с дрейф на моделите, недостатъчна прозрачност, недетерминистично разсъждение и халюцинации [6], [24]. В пряко качествено изследване сред 20 SOC специалисти от 13 организации, 75% посочват необходимост от човешки контрол и възприемат LLM предимно като системи за подпомагане на вземането на решения. Участниците идентифицират и явлението „верификационно натоварване“ (verification drag), при което очакваните ползи за ефективността се намаляват от необходимостта резултатите на моделите да бъдат проверявани [25]. За ограничаване на пристрастията към автоматизацията се препоръчва човешките специалисти да запазят правомощието за окончателно валидиране на сигналите и за одобрение на действия със сериозни потенциални последствия [5], [9], [19].

Ръчния преглед на логове в съвременните SOC е силно ресурсоемък. Автоматизираната обработка обикновено започва с обработка и нормализация, при които

от необработените събития се извличат шаблони и променливи, а форматите от различни доставчици се стандартизират. Детерминистични методи като Drain и регулярни изрази са ефективни, но недостатъчно гъвкави при промени в схемите [8], докато AI/LLM подходи като LibreLog и LogParser-LLM се адаптират към променящи се формати и намаляват необходимостта от ръчна поддръжка на правила [6].

3.2. Обогатяване с информация за заплахи и разследване на инциденти

Обогатяването с информация за киберзаплахи добавя към вътрешните SOC телеметрични данни външен контекст за противниковата активност и по този начин подпомага по-бързото откриване и проактивното търсене на заплахи [8]. Основният слой на автоматизацията е детерминистичното обогатяване на IoC чрез API интерфейси и платформи за информация за заплахи (Threat Intelligence Platforms, TIP), включително проверки на репутацията на IP адреси, домейни, URL адреси и хешове на файлове. Тези задачи са особено подходящи за автоматизация, тъй като използват стандартизирани схеми за точно съпоставяне, изпълняват се често, изискват ограничено логическо разсъждение и не създават риск от халюцинации на модела [24]. Декларативни API рамки като DecOr и системи за препоръки като APIRO, за които във вторични обзори е отчетена Top-1 точност от 91,9%, допълнително улесняват интеграцията в SOAR работни процеси [2].

Автоматизацията подпомага също събирането и корелацията на данни от разнородни източници на информация за заплахи, включително съпоставяне на онтологии и връзки между CVE и MITRE ATT&CK [2]. При неструктурирани източници се използват методи за обработка на естествен език (NLP), LLM и RAG с цел извличане на индикатори и информация за поведението на противника от доклади, блогове и бюлетини за сигурност. Обзорни изследвания представят резултати от прилагането на различни решения за автоматизирано извличане на информация за киберзаплахи. Сред тях са IntelEX и TTPHunter, насочени към разпознаване на тактики, техники и процедури на нападателите, CTINexus – за извличане на обекти и връзки между тях и изграждане на графи на знанията, както и aCTIon – за структуриране на информация от доклади за заплахи. Отчетените стойности на показателя F1 варират според използваното решение, конкретната задача и условията на оценяване [8]. LLM-подпомогнатата обработка на разузнавателна информация за киберзаплахи (Cyber Threat Intelligence, CTI) е свързана и с намаляване на необходимото време с 42,6% при автоматично генериране на разузнавателни доклади и с до 75% при корпоративни работни процеси за генериране на доклади [6], [24].

Автоматизираното обработване на информация за заплахи обаче остава уязвимо към остарели или противоречиви данни, фалшиво положителни репутационни сигнали, неправилна класификация на тактики, техники и процедури (TTP) и генерирани от моделите несъществуващи IoC [8]. RAG процеси, които използват ненадеждни OSINT източници или съдържание от тъмната мрежа, могат да бъдат изложени и на индиректно инжектиране на инструкции (indirect prompt injection) и отравяне на индексите за извличане [11], [24]. В интервюта с 20 SOC специалисти анализаторите посочват, че преди използване в продукционна среда валидират извлечените индикатори и TTP спрямо вътрешни разузнавателни източници или първични логове [25].

Разследването на инциденти в съвременните SOC е процес, който изисква значително време и умствени усилия, тъй като анализаторите трябва да корелират разнородни данни от крайни устройства, мрежова инфраструктура и източници за киберразузнаване в условия на значителни оперативни ограничения [25]. Традиционните детерминистични подходи използват предварително дефинирани правила за корелация, свързване на данни между бази и графи на причинно-следствени зависимости, което осигурява добра прозрачност и

проследимост при известни модели, но ограничена гъвкавост при нови или неструктурирани доказателства [2]. За разлика от тях AI- и LLM-подпомогнатите методи поддържат семантична корелация, извеждане на зависимости и генериране на разбираеми за анализатора описания на атаката въз основа на сложни и разнородни доказателства [6], [8], [11].

Автоматизираното разследване обхваща няколко подзадачи. Събирането и корелацията на доказателства комбинират методи за DL и RAG с цел интегриране на телеметрични данни от множество източници [2] [11]. При реконструкция на времевата линия и пътя на атаката рамки като GenDFIR, WatchOverGPT и Citar съчетават rule-based логика с LLM-базирано разсъждение. Обзорни изследвания отчитат за GenDFIR обща точност от 97,51% и 95,52% точност на фактите [24]. Анализът на първопричината (Root-Cause Analysis, RCA) все по-често използва многоагентни архитектури като RCAgent, Flow-of-Action и TrioXpert, които преодоляват ограниченията на LLM по отношение на контекстния прозорец и извършват причинно-следствен анализ на логове чрез специализирани агенти [8]. Според вторични оценки TrioXpert извършва цялостна диагностика за приблизително 15 секунди [6].

3.3. Реагиране при инциденти, ограничаване на заплахите и автоматизирани процедури

Автоматизираните действия по ограничаване включват блокиране на IP адреси изолиране на крайни устройства [13], прекратяване на процеси, деактивиране на потребителски акаунти, отнемане на сесии или токени и промени в правилата на защитните стени [15]. В литературата се разграничават три основни режима на изпълнение: само препоръка, при който се предлага мярка за ограничаване, без тя да се изпълнява; изпълнение след човешко одобрение, при което подготвените действия се поставят на пауза в предварително определени състояния [16], [17], [26]; и напълно автономно изпълнение, при което действията по отстраняване се извършват без предварителна човешка намеса [10], [20].

Преки емпирични изследвания отчитат съществени подобрения в производителността. При 50 сценария на атака и 10 оркестрирани инструмента SOAR намалява MTTR с 38% и необходимата ръчна намеса с 60% [13]. CyberPlaybookLLM генерира сценарии за ограничаване за 3,2–4,1 секунди, с 84,3% прецизност на предложените мерки и 96,8% валидност на схемата върху 200 отделени за тестване инцидента [17]. SOAR4BC постига автоматизирана изолация за 9,05 секунди при selective coverage от 0,9997 [20], докато пилотно решение с AI агент за реакция при SSH brute-force атаки съкращава сценарий от 38 стъпки до 10 действия при среден MTTR от около 4 минути [16]. Отчита се и намаляване на времето за реакция с до 70% при SOAR платформи [10], 98,93% по-ниско време за ограничаване при Nissist [8], ограничаване за под 5 минути при 98% автоматизация на сигналите в ReliaQuest GreyMatter, както и намаляване на MTTR от 8 часа до 90 минути в симулации с CyberAlly [6].

Пълната автономност не винаги е подходяща, дори да е технически осъществима. Действия, предизвикани от фалшиво положителни сигнали, могат да доведат до изолиране на критични системи, прекъсване на легитимни услуги, блокиране на потребителски акаунти или дори до самопричинени условия за отказ на услуга (DoS) [20], [15]. Поради това степента на автоматизация следва да се определя според нивото на риска. Действията с нисък риск, които могат лесно да бъдат отменени, могат да се изпълняват автоматично при достигане на предварително зададен праг на увереност, докато тези с висок риск или трудно обратими последствия изискват одобрение от анализатор [17], [26], [16].

Независимите от конкретен доставчик стандарти, като OASIS CACAO 2.0, се използват все по-често с цел осигуряване на оперативна съвместимост при оркестрацията. CACAO дефинира машинно четими JSON структури за работни процеси, включващи възли за действия, условни преходи, цикли и паралелно изпълнение, което позволява на SOAR платформите да координират разнородни инструменти като SIEM, EDR, защитни стени и системи за управление на идентичности [13], [15], [17], [20]. Използването на BPMN (Business Process Model and Notation) за графично представяне на работните процеси може да улесни разбирането им от анализаторите. В проведено емпирично изследване полезността на този подход е оценена средно с 8,2 от 10 точки [22].

Съвременните изследвания разглеждат адаптивно генериране на сценарии чрез AI, LLM и дълбоко обучение с подсилване (Deep Reinforcement Learning, DRL) [27]. При експериментална оценка върху 200 примера CyberPlaybookLLM, базиран на езиковия модел LLaMA 3.1-8B, генерира сценарии за реагиране при инциденти, съвместими със стандарта CACAO 2.0, за 3,2–4,1 секунди. Постигнати са 84,3% прецизност при определяне на мерките за ограничаване на заплахите, 79,6% пълнота (recall), 91,2% съответствие на възлите и 92,5% пълнота на последователността от действия [17]. Пилотно решение с AI агент съкращава XSOAR работен процес от 38 стъпки до 10 основни действия при среден MTTR от около 4 минути [16], докато SOAR4BC генерира CACAO v2 сценарии средно за 12,41 секунди [20].

Възможността за автоматично генериране на сценарии обаче не означава, че те могат да бъдат изпълнявани без допълнителна проверка и контрол. Невалидираните LLM резултати могат да съдържат неправилно структурирани разклонения, некоректни променливи, несвързани възли или невалидни команди. По отношение на валидността на CACAO схемата базовият модел LLaMA 3.1-8B постига 28,7%, като дообучаването повишава резултата до 60,3%, а корекцията, базирана на правила, го увеличава до 96,8%. Few-shot prompting подобрява структурната коректност от 43,5% до 71,2% при GPT-4o-mini и от 85,2% до 94,8% при GPT-4o. Затова преди изпълнението на ответни действия с висок риск е необходимо автоматично да се проверява съответствието на генерираните сценарии с изискванията на стандарта, както и да се осигури задължително одобрение от анализатор [16], [17], [20], [27].

3.4. Уязвимости и разработка на механизми за откриване на злонамерена активност

Управлението на уязвимости е основна функция в SOC, насочена към поддържане на видимост върху слабостите в софтуерните системи и намаляване на риска от тяхното експлоатиране [6]. Автоматизацията обикновено започва с планирано мрежово сканиране чрез инструменти като Nmap, Masscan или Nessus, оркестрирани посредством SOAR платформи или системи за автоматизация на работни процеси [15]. Резултатите от сканирането впоследствие се анализират, обогатяват се с CVE данни от публични хранилища и се свързват със засегнатите активи [8]. В пряка емпирична оценка self-hosted n8n работен процес, използващ ChatGPT 4o-mini, обработва резултатите от сканиране, извършва заявки към бази данни за уязвимости, определя критичност и генерира технически и управленски HTML отчети за 48,3 секунди при API разход от 0,0000189 щ.д. за едно изпълнение [21].

AI/ML методите могат да помогнат в оценяването на критичността на уязвимостта и вероятността за експлоатиране. Моделът CVEDrill анализира описанията на уязвимостите и прогнозира техните характеристики по системата CVSS, използвана за оценка на тежестта им. CASEY, от своя страна, определя вида на слабостта според класификацията CWE и оценява критичността на уязвимостта. Според данни, обобщени в научната литература,

CASEY постига 73,6% точност при определяне на нивото на критичност [6]. Приоритизирането на уязвимости обаче не следва да се основава единствено на CVSS оценки. По-ефективната оценка на риска комбинира CVSS с показатели за експлоатируемост като EPSS и KEV, съпоставяне между CVE и MITRE ATT&CK [8], както и локалната критичност на засегнатия актив [11].

Сред основните задачи на SOC е създаването, поддържането и настройването на правила и заявки за откриване на подозрителна или злонамерена активност в големи обеми данни за сигурността. Традиционните подходи използват регулярни изрази, правила за корелация и предварително зададени заявки за търсене. Макар да осигуряват предвидими резултати, тези методи изискват значителни усилия за поддръжка и трудно се приспособяват към различните SIEM платформи и променящите се тактики на нападателите [2]. За разлика от тях AI- и LLM-подпомогнатите методи позволяват генериране на заявки на естествен език, автоматизиран синтез на правила за откриване и тяхната адаптивна оптимизация [8], [12], [23].

Генерирането на SIEM заявки на естествен език може съществено да повиши производителността на SOC анализаторите [23]. Рамката Syntax Query Metadata (SQM) е разработена за автоматично генериране на заявки за откриване на заплахи в платформите IBM QRadar и Google SecOps. За да намали синтактичните грешки, тя използва предварително определени допустими конструкции, метаданни и техническата документация на съответната платформа. При експериментална оценка SQM постига по-добри резултати от моделите Qwen3-80B и GPT-4o, когато те се използват без аналогични ограничения при генерирането на заявки. Стойностите на показателите BLEU и ROUGE-L за SQM са съответно 0,384 и 0,731, спрямо 0,149 и 0,522 за Qwen3-80B и 0,140 и 0,508 за GPT-4o. Практическата приложимост на подхода се потвърждава и от факта, че 88% от генерираните заявки могат да бъдат изпълнени без ръчна корекция. Освен това използването на информацията, получена чрез SQM, повишава точността при прогнозиране на крайния резултат от 78,3% на 90,0% и съкращава времето за първоначална оценка от приблизително четири часа до по-малко от десет минути [12].

Неконтролирано генерираната от LLM логика за откриване обаче може да съдържа несъществуващи полета, невалиден синтаксис, неправилен ред на клаузите или семантично некоректни условия. Подобни грешки могат да доведат както до лавинообразно генериране на сигнали, така и до опасни пропуски в откриването. Затова преди внедряването им в реална работна среда генерираните правила и заявки трябва да бъдат проверени за синтактични грешки и съответствие с изискванията на съответната платформа. Необходимо е също да бъдат тествани върху данни от минали събития и прегледани от анализатор [12], [23].

3.5. Тикети, координация и докладване

Управлението на тикети, ескалацията към съответните специалисти, изпращането на известия и координацията на действията при реагиране са сред дейностите в SOC, които са особено подходящи за автоматизация [3]. За разлика от действията по ограничаване, които пряко променят състоянието на системите, тези задачи управляват основно административни потоци от данни, статуса на случаите и комуникацията и поради това обикновено са свързани с по-нисък оперативен риск [25].

SOAR платформите и системите за автоматизация на работни процеси могат да обработват SIEM сигнали или е-мейл съобщения за сигурност, да създават структурирани тикети, да ги обогатяват с данни за идентичности, активи и заплахи и да автоматизират възлагането, маршрутизирането и ескалацията им. Използването на AI улеснява

автоматичното класифициране на сигнали и случаи, които трудно могат да бъдат категоризирани чрез предварително зададени правила. Според резултати, обобщени в научната литература, моделът Ticket-BERT постига близо 90% точност при класифицирането, а TickIt намалява с 30% необходимостта от ръчна обработка на сигналите [6]. Автоматизираните системи за известяване предоставят своевременна информация на техническите екипи и ръководството, а SOAR платформите осигуряват взаимодействието между инструментите за сигурност и системите за управление на инциденти [13], [15], [21].

Преките емпирични данни показват съществени подобрения в ефективността. Self-hosted n8n работен процес, използващ ChatGPT 4o-mini, генерира технически и управленски доклади за уязвимости въз основа на Nmap телеметрия за 48,3 секунди при разход от 0,0000189 щ.д. за едно изпълнение [21]. При използване на LLM в работните процеси на ServiceNow автоматично генерираните бележки за приключване на инциденти и препоръки получават средна оценка 8,70 от 10 точки за качество на обосновката и релевантност [12]. Интервюта с 20 SOC специалисти показват, че 65% от тях използват LLM за задачи, свързани предимно с обработка на текст, като обобщаване, документиране и изготвяне на информационни материали по сигурността, при което някои дейности по докладване се съкращават от часове до минути [25]. Според данни, обобщени в научната литература, използването на AGIR намалява с 42,6% времето за изготвяне на доклади за киберзаплахи (CTI), а корпоративните AI асистенти съкращават подготовката им от 8 часа до по-малко от 2 часа. Системата GenDFIR постига 95,52% фактическа точност при изготвяне на хронология на събитията. Отчита се и 83% подобрение във времето за реагиране при инциденти чрез използване на изкуствен интелект за автоматично съставяне на описания на събитията [6], [5].

Като цяло автоматизацията обхваща целия жизнен цикъл на SOC, но подходящата степен на автономност зависи от структурата на задачата, нейната проверимост и последствията от евентуална грешка. Задачите с ясно определени правила и нисък риск могат да бъдат автоматизирани в по-голяма степен, докато разследването на инциденти и предприемането на действия със сериозни последствия изискват по-строг контрол от страна на анализаторите.

4 Архитектури и измерими оперативни ползи

4.1. Детерминистична, SIEM/SOAR и обща оркестрация

Автоматизацията чрез предварително зададени правила (детерминистична) е в основата на оркестрацията на процесите по сигурността. Тя позволява утвърдените процедури да се изпълняват автоматично според ясно определени условия [16], [18]. Реализира се посредством работни процеси, задействани от събития или по график, скриптове и API интеграции между различни инструменти за сигурност. Детерминистичните сценарии свързват конкретно дефинирани входни условия, като съвпадение със сигнатура или достигане на прагова стойност, с предварително определени действия, включително блокиране на IP адрес, изолиране на хост, заключване на потребителски акаунт или изпълнение на заявки към източници за киберразузнаване [5], [15], [21].

SIEM изпълняват ролята на централен слой за откриване, наблюдение и корелация на събития в съвременните SOC архитектури. Основен архитектурен принцип е разграничаването между откриването и последващите процеси по оркестрация и изпълнение. SIEM системите събират, нормализират, съхраняват и корелират събития по

сигурността, докато външни платформи за автоматизация на работни процеси и SOAR решения изпълняват действия по разследване и реакция [10], [22].

В съвременните SOC среди SOAR платформите осигуряват специализиран слой за оркестрация, който свързва системите за откриване с разнородни инструменти за сигурност [2]. Докато SIEM платформите събират, нормализират и корелират събития, SOAR разширява тази функционалност, като приема генерираните сигнали и координира ответни действия между мрежови системи, крайни устройства, източници за киберразузнаване и системи за управление на инцидентни случаи посредством API интерфейси [10], [13], [15], [22].

4.2. Ефективност, реакция и мащабируемост

Основна цел на автоматизацията в киберсигурността е намаляването на повтарящите се и времеемки SOC дейности, свързани с обработка на логове, обогатяване на данни, корелация на сигнали, управление на тикети, докладване и оркестрация между множество инструменти [8], [11]. Автоматизацията намалява необходимостта от работа с множество инструменти и улеснява изпълнението на сложни процедури. Така анализаторите могат да отделят повече време за задълбочено разследване на инциденти и анализ на заплахи [25], [16].

Намаляването на натоварването е особено ясно изразено при обработката на логове и първоначалната оценка на сигнали. Според резултатите от експериментално изследване инструментът LogBatcher обработва 3,6 милиона записа от системни логове за 569,6 секунди, като намалява времето, необходимо за многократни последователни заявки към модела. Вторични оценки посочват, че LogAssist намалява с 99% обема на логовете, изискващи човешки преглед, и с 40% времето за анализ, докато комбинираната human–AI първоначална оценка е намалила обема на Tier-1 сигналите с 40%–60% [6], [11].

В преки данни от продукционна среда рамката Syntax Query Metadata (SQM) генерира изпълними AQL и YARA-L заявки без необходимост от ръчна корекция в 88% от случаите, като намалява общото време за първоначална оценка и събиране на доказателства от приблизително четири часа до под десет минути за един ServiceNow тикет [12]. Според данни, обобщени в научната литература, автоматичното обобщаване на логове и създаването на разбираеми описания на събитията могат да подобрят ефективността на анализаторите. В сравнение с ръчния преглед на необработени логове се отчита до 83% подобрение във времето за реагиране [5].

Основна цел на SOC автоматизацията е да намали времето между потвърденото откриване на инцидент и неговото ограничаване или отстраняване. SOAR платформите подпомагат това чрез свързване на системите за откриване с автоматизирани механизми за реакция, които изпълняват предварително дефинирани сценарии в крайни устройства, мрежова инфраструктура и облачни среди [10], [13], [20].

Степента на автоматизация остава зависима от оценката на риска [6]. Нискорисковите действия могат да се изпълняват автономно [20], [10], докато действия със сериозно въздействие, като изолиране на хост, деактивиране на потребителски акаунт или промени в защитната стена, обичайно изискват изрично човешко одобрение [17]. Това въвежда съзнателно забавяне в процеса, но намалява риска от оперативни смущения и прекъсване на бизнес процеси вследствие на фалшиво положителни сигнали [13], [15], [16], [22].

При ръчното изпълнение на дейностите в SOC начинът на работа често зависи от опита и индивидуалните подходи на анализаторите. Липсата на ясно установени процедури може да доведе до различия в обработката на инцидентите и до забавяне на реакцията [3]. Автоматизацията ограничава тези различия, като осигурява изпълнение на предварително

определени процедури чрез стандартизирани сценарии за действие, например по стандарта OASIS CACAO 2.0, или чрез работни процеси, описани с нотацията BPMN [17], [22]. Така обработката на сигналите следва предварително определени правила и процедури, независимо от опита на конкретния анализатор или работната смяна [10], [13].

Мащабируемостта обаче остава ограничена както от технически, така и от човешки фактори. Латентността при изпълнение на LLM модели с общо предназначение от 1 200–1 800 ms, в сравнение с 370–640 ms при дообучени варианти, може да наруши изискванията за работа в реално време при внезапни пикове в натоварването. Разходите за токени, отчетени на приблизително 0,50 щ.д. за инцидент с 50 000 токена, също могат да ограничат генеративната обработка без използване на кеширане. Допълнителни ограничения са лимитите на API заявките, комуникационното натоварване при многоагентни системи, ограниченията върху броя или продължителността на изпълненията при community версии на платформи за автоматизация и „верификационното натоварване“, при което необходимостта от човешка проверка създава нови затруднения в последващите етапи на процеса [6], [11], [21].

5 Човешко участие, рискове и ограничения

5.1. Нива на автоматизация и човешки контрол

Изцяло ръчното изпълнение представлява базовото ниво на автоматизация (Level 0 / L0), при което анализаторите запазват пълната отговорност за събирането на данни, изпълнението на SIEM заявки, разследването, вземането на решения, изпълнението на ответни действия и документирането. Анализаторите ръчно корелират телеметрични данни, оценяват критичността на активите, избират подходящи мерки за ограничаване и документират резултатите от обработката на инцидента [12], [22].

Изпълнението с участие на човек (Human-in-the-Loop, HITL) представлява полуавтономен модел, при който автоматизираните системи откриват събития, обогатяват телеметричните данни и подготвят действия за ограничаване, но изпълнението им се отлага до получаване на одобрение от анализатор [6], [16], [19]. Системите могат предварително да конфигурират скриптове или машинно четими сценарии с целеви IP адреси, правила за защитни стени или параметри на потребителски акаунти, докато анализаторите запазват окончателното право за разрешаване на действията в продукционна среда [1], [17], [26].

Напълно автоматизираната реакция представлява най-високото ниво на SOC автоматизация, при което задължителното одобрение от анализатор преди изпълнение се премахва [6]. На това ниво системите самостоятелно откриват събития, анализират телеметрични данни, оценяват риска, избират подходящи ответни действия и изпълняват мерки за ограничаване, като блокиране на IP адреси, изолиране на хостове, прекратяване на процеси, деактивиране на акаунти, поставяне на електронни съобщения под карантина и преконфигуриране на защитни стени [9], [23], [27].

5.2. Грешки, пристрастие, халюцинации и верификационно натоварване

Системите за откриване в SOC често дават приоритет на пълнотата спрямо прецизността, което води до значителен обем фалшиво положителни резултати [3]. Когато автоматизацията разчита на непроверени сигнали за заплахи или неточни резултати от модели, съществува риск грешките да повлияят и на последващите действия при реагиране на инциденти [5], [23].

По-високите нива на автоматизация могат постепенно да изместят ролята на анализаторите от активно вземане на решения към по-пасивен надзор [1]. При автоматизираното реагиране могат да възникнат два основни вида грешки. Първият е

пропускането на действителна заплаха, когато системата не генерира сигнал и инцидентът остава незабелязан. Вторият е предприемането на неправилни действия вследствие на погрешна препоръка, която е приета или изпълнена без достатъчна проверка [5]. Прекомерното разчитане на автоматизацията може да доведе до по-рядка самостоятелна проверка на информацията, по-слаба представа за развитието на инцидентите и постепенно отслабване на уменията на анализаторите за самостоятелно разследване [1], [9], [19], [26].

LLM се основават на вероятностно предсказване на следващия токен и поради това са податливи на халюцинации и нестабилност на резултатите. В SOC среди, където решенията зависят от точни и проследими доказателства, документираните режими на отказ включват генерирани несъществуващи IoC несъществуващи CVE идентификатори [8], [28], невалидни команди или синтаксис на правила за откриване, подвеждащи обобщения за инциденти [6] и необосновани предположения за причините за инцидента при недостатъчна информация или при среща с непознати досега заплахи [25]. Дори малки промени в инструкциите към модела могат да доведат до различни резултати. Това затруднява повторното извършване на анализа и получаването на едни и същи заключения при разследване на инциденти [11], [23].

Въпреки това LLM остават ефективни при нискорискови и предимно текстови задачи, като обработка на логове, обобщаване и изготвяне на чернови на отчети, когато резултатите могат лесно да бъдат проверени. Препоръчителните защитни механизми включват RAG, обвързано с надеждни телеметрични данни [6], [11], подаване на инструкции, ограничени от наличните доказателства, структурирани JSON/YAML резултати с автоматизирана валидация, както и детерминистична последваща обработка чрез статичен анализ или изпълнение в sandbox среда [28]. Дейностите с по-висок риск, като внедряването на правила за откриване на заплахи в реална работна среда, определянето на източника на кибератака и изготвянето на препоръки за реагиране, изискват по-задълбочена проверка и одобрение от анализатор [24], [25].

Въпреки че AI и LLM могат да ускорят генерирането на различни артефакти, част от спестеното време често се компенсира от усилията, необходими за валидиране на резултатите преди използването им в продукционна среда [11]. Това верификационно натоварване (verification drag), включва умствените и ръчните усилия, необходими за преглед, тестване и коригиране на генерирани обобщения, класификации, SIEM заявки, правила за откриване, CTI извлечения, CACAO сценарии, отчети и препоръки за реакция [17], [19], [25].

Разходът за верификация зависи в значителна степен от проверимостта на генерирания резултат. Структурирани артефакти като заявки, скриптове и сценарии, ограничени от предварително дефинирани схеми, могат да бъдат проверявани сравнително бързо чрез linting инструменти, sandbox среди и повторно изпълнение върху по-стари записи [17], [23]. За разлика от тях задачи като установяване на причините за инцидента, определяне на предполагаемия извършител на атаката и формулиране на хипотези в хода на разследването изискват по-задълбочена експертна оценка и проверка въз основа на събраните доказателства [25].

Преки данни от 20 SOC специалисти потвърждават необходимостта от съществена проверка ред по ред на генерирани правила, докато метааналитични данни отчитат увеличение на натоварването с 20%–30% вследствие на задължителен човешки преглед в среди с високи изисквания за съответствие. Концептуалните HITL модели въпреки това разглеждат верификацията като необходим механизъм за осигуряване на доверие, безопасност и нормативно управление [29]. Важно е да се отбележи, че необходимостта от

проверка не елиминира всички ползи от автоматизацията. При рутинна първоначална оценка с голям обем от сигнали все още могат да бъдат постигнати нетни намаления на латентността [11], [25].

5.3. Сигурност на платформите и поверителност

SOAR платформите, low-code/no-code системите за автоматизация на работни процеси и агентните AI рамки изпълняват ролята на централни интеграционни звена между SIEM, EDR, системи за киберразузнаване и платформи за управление на идентичности. Тъй като често съхраняват привилегировани API ключове, SSH токени и идентификационни данни за услуги [21], компрометиране или неправилна конфигурация на оркестрационния слой може да доведе до разпространяване на неоторизирани действия както в облачни, така и в локални среди [23], [28].

Традиционните платформи за автоматизация на работни процеси са изложени предимно на статични рискове, като несигурно съхранение на секрети, прекомерно широки API права, публично достъпни webhooks и ограничени възможности за ролево управление на достъпа (RBAC) или одит, особено при платформи с общо предназначение или локално хоствани решения. Тъй като изпълнението им следва предварително определени правила, причините за възникналите грешки могат да бъдат установени по-лесно [21]. Платформите, използващи AI и автономни агенти, създават допълнителни рискове за сигурността, включително възможността за манипулиране на поведението им чрез злонамерени инструкции (prompt injection) [11]. Злонамерено съдържание в логове, уеб страници или доклади за заплахи може да манипулира разсъждението на агентите, да задейства неоторизирано използване на инструменти или да замърси паметта и RAG хранилищата [6], [24]. Използването на външни инструменти създава и рискове, свързани със сигурността на софтуерната верига на доставки. При изследвания на публично достъпни сървъри, използващи протокола Model Context Protocol (MCP), е установено, че 41% позволяват свързване без удостоверяване на потребителя, а при 12% е открито злонамерено поведение [28].

Препоръчителните защитни механизми включват прилагане на принципа на минималните привилегии при API достъпа, използване на идентификационни данни с ограничен срок на валидност и централизирано управление на секрети, изпълнение в sandbox среди с мрежова сегментация [21], интерфейси към инструменти, ограничени чрез формални схеми, като MCP или OpenAPI, човешко одобрение при действия със сериозно въздействие, както и неизменяеми логове от изпълнението, интегрирани в SIEM одита [23], [24], [28].

Автоматизираните SOC работни процеси и AI-базираните аналитични системи обработват големи обеми чувствителни и регулирани телеметрични данни, включително логове, следи от автентикация, IP адреси, потребителски имена, вътрешни имена на хостове, записи за инциденти, информация за киберзаплахи и конфигурации за сигурност [8], [24]. Предаването на подобни данни към външни AI/LLM услуги създава рискове, свързани с изтичане на информация в облачна среда, запаметяване на чувствителни низове от моделите, membership inference атаки, компрометиране на RAG векторни хранилища и неоторизирано съхраняване на данни [11], [25], [28].

Тези рискове създават ограничения от гледна точка на управлението и нормативното съответствие в рамки като GDPR, HIPAA и EU AI Act. Изискванията за местонахождение на данните, трансграничен трансфер, ограничение на целите за обработване и спазване на споразумения за поверителност (NDA) могат да ограничат използването на облачни API услуги [25], [30]. Използването на AI модели, работещи в облачна среда, предоставя широки

възможности за анализ, но същевременно увеличава риска от разкриване на поверителна информация и от нарушаване на законовите изисквания за защита на данните, докато локално хостваните или суверенните внедрявания запазват телеметричните данни в рамките на организационната доверителна граница [6]. Локалното хостване обаче не премахва риска, а го прехвърля, като въвежда допълнителни отговорности по отношение на инфраструктурата, поддръжката, контрола на достъпа и вътрешните заплахи [8], [11], [28].

Интервюта с 20 SOC специалисти определят поверителността, ограниченията, произтичащи от NDA, и политиките за управление на данните като основни пречки пред внедряването [25], докато експериментални изследвания демонстрират рискове, свързани с извличане на информация от векторна памет и membership inference атаки. Препоръчителните защитни механизми включват минимизиране на данните и премахване или маскиране на лична идентифицираща информация (PII) [8] криптирани или строго контролирани векторни хранилища, диференциална поверителност, споразумения за нулево задържане на данни, строг контрол на достъпа, ограничения върху периода на съхранение и защитено от промени регистриране на действията в SIEM системите [11], [28].

6 Рамка „Задача–Риск–Автоматизация“

Самата честота на дадено действие или процес обаче не е достатъчно основание за прилагане на високо ниво на автоматизация (Level of Automation, LOA). Повтарящи се задачи могат все още да изискват човешки контрол, ако са недетерминистични, трудно проверими или са в състояние да причинят грешки със сериозни последствия [5]. Следователно честотата и повторяемостта определят потенциалната полза от намаляване на работното натоварване, но степента ѝ зависи от възможността за проверка на резултатите и риска от сериозни грешки [25].

Детерминираността на задачата и проверимостта на резултата са ключови критерии при избора на подходящ LOA в SOC работните процеси [19]. Детерминистичните задачи се основават на структурирани входни данни, изрично дефинирани правила и ограничени по обхват работни процеси, които водят до предвидими резултати [23]. Примери за такива задачи са API-базирани справки за индикатори, обработка на логове и генериране на заявки, ограничено от предварително дефинирани схеми [12]. Тъй като подобни резултати могат да бъдат проверявани чрез linting инструменти, синтактична валидация, изпълнение в sandbox среда или директно сравнение с първични доказателства, те създават сравнително ниско верификационно натоварване и са по-подходящи за по-високи нива на автоматизация [17], [25], [28].

Рискът зависи както от обратимостта на действието, така и от критичността на засегнатия актив. Временните действия могат сравнително лесно да бъдат отменени, докато постоянните или променящите състоянието на системата действия изискват по-строги защитни механизми [23]. Едно и също действие може да има коренно различни последствия в зависимост от контекста; например изолирането на тестово крайно устройство може да представлява нисък риск, докато изолирането на критичен домейн контролер може да предизвика смущения в мащаба на цялата организация [19], [26].

Настоящата статия предлага шестстепенна концептуална скала от L0 (ръчно изпълнение) до L5 (напълно автономно изпълнение) за категоризиране на делегирането на SOC задачи. Скалата синтезира предходни изследвания в областта на човешките фактори, агентния AI и взаимодействието между човек и AI [9], [19], [23], но тук се предлага като ориентирана към задачите концептуална рамка, а не като утвърден индустриален стандарт.

L0 – Ръчно изпълнение: анализаторите извършват цялата интерпретация, вземането на решения и изпълнението на ответни действия [25].

L1 – Автоматизирано събиране на данни: системите събират, обработват, обогатяват и корелират телеметрични данни, докато анализаторите запазват пълните правомощия за вземане на решения и изпълнение [10].

L2 – Автоматизиран анализ или обобщаване: системите обобщават логове, оценяват риска или изготвят времеви линии, а анализаторите валидират резултатите и определят ответните действия [25].

L3 – Автоматизирани препоръки / подпомагане на вземането на решения: системите предлагат заявки, действия или сценарии за реакция, докато анализаторите запазват окончателните правомощия за вземане на решения и изпълнение [23], [24].

L4 – Автоматизирано действие с човешко одобрение: системите подготвят действия по ограничаване, но изпълнението им се извършва само след изрично разрешение от анализатор [19], [26].

L5 – Напълно автономно изпълнение: системите самостоятелно откриват, оценяват, избират и изпълняват ответни действия без предварително човешко одобрение; анализаторите запазват последващи функции по одит и управление на политиките [23].

Човешкият контрол се разглежда в три форми: задължително одобрение преди изпълнение (Human-in-the-loop, HITL), наблюдение с възможност за намеса (Human-on-the-loop, HOTL) и автономно изпълнение без пряка човешка намеса (Human-out-of-the-loop, HOOTL).

Матрицата „Задача–Риск–Автоматизация“ обобщава рамката, като комбинира честотата на задачата, детерминираността, проверимостта, последствията от грешка и обратимостта в единен модел за подпомагане на вземането на решения.

Таблица 1. Матрица „Задача–Риск–Автоматизация“

SOC задача	Ниво	Форма на човешки контрол
Обработка и нормализация на логове	L5	HOOTL (одит)
Първоначална оценка на сигнали	L4 / L5	HOTL / HITL (при необходимост)
CTI и обогатяване на индикатори	L1 / L5	HOOTL (периодична проверка)
Обобщаване на логове	L2	HITL (извадкова проверка)
Изготвяне на SIEM / YARA заявки	L3	HITL (тестване и одобрение)
Управление на инцидентни случаи и тикети	L1 / L5	HOTL (наблюдение)
Разследване на първопричината за инцидент	L0–L2	HITL (експертен преглед)
Изолиране на крайно устройство	L4	HITL (задължително одобрение)
Промяна в защитна стена	L4	HITL (двойно одобрение)
Отстраняване в основна инфраструктура	L3 / L4	HITL (изрично одобрение)
Изготвяне на проект на доклад за инцидент	L2 / L3	HITL (преглед и редакция)
Генериране на SOAR сценарии	L3 / L4	HITL (експертен преглед)

Нито един фактор не е самостоятелно определящ подходящото ниво на автоматизация. Високата честота показва потенциал за намаляване на работното

натоварване, детерминираността и проверимостта - технически безопасната степен на автоматизация, а последствията от грешка и обратимостта определят необходимото ниво на човешки контрол [19], [25], [26].

Разпределението по нива L0–L5 представя концептуални препоръки, основани на разгледаната литература, а не експериментално валидиран стандарт. Матрицата е предназначена да служи като помощен инструмент при избор на подходящо ниво на автоматизация въз основа на характеристиките на задачата и оперативния риск, а не единствено на наличните технологични възможности [19], [25].

7 Заключение

Автоматизацията може да облекчи работата на центровете за операции по сигурността най-вече при чести и добре структурирани дейности като обработка на логове, обогатяване на сигнали и документиране на инциденти. При действия, които променят състоянието на системите и могат да засегнат критични активи, ползата от по-бързата реакция трябва да се преценява заедно с последствията от евентуална грешка. Затова подходящото ниво на автоматизация зависи не само от техническите възможности, но и от проверимостта на резултата, обратимостта на действието и необходимостта от човешко одобрение.

На тази основа статията предлага концептуалната рамка „Задача–Риск–Автоматизация“, която свързва характеристиките на SOC задачите с нивата на автоматизация L0–L5 и формите на човешки контрол. Рамката служи като ориентир при проектиране на работни процеси, но предложеното разпределение на задачите по нива предстои да бъде проверено в реална оперативна среда. Бъдещи изследвания следва да оценят не само времето за обработка и реакция, но и точността, усилието за проверка на автоматизираните резултати и последствията от погрешни действия при продължителна употреба.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Varma, A., AI in Security Operations Centers: Automation and Intelligence. In: International Journal of Trend in Research and Development (IJTRD), Vol. 10, No. 6, November–December 2023, pp. 320–324. ISSN: 2394-9333.

[2] Khayat, M., Barka, E., Serhani, M.A., Sallabi, F., Shuaib, K., Khater, H.M., Empowering Security Operation Center With Artificial Intelligence and Machine Learning—A Systematic Literature Review. In: IEEE Access, Vol. 13, 2025, pp. 19162–19194.

[3] Tariq, S., Chhetri, M.B., Nepal, S., Paris, C., Alert Fatigue in Security Operations Centres: Research Challenges and Opportunities. In: ACM Computing Surveys, Vol. 57, No. 9, Article 224, 2025, 1–38.

[4] Kearney, P., Abdelsamea, M., Schmoor, X., Shah, F., Vickers, I., Combating Alert Fatigue in the Security Operations Centre. In: SSRN Electronic Journal, 2023, 34 pp.

[5] Tilbury, J., Flowerday, S., Automation Bias and Complacency in Security Operation Centers. In: Computers, Vol. 13, No. 7, Article 165, 2024, pp. 1–22.

[6] Srinivas, S., Kirk, B., Zendejas, J., Espino, M., Boskovich, M., Bari, A., Dajani, K., Alzahrani, N., AI-Augmented SOC: A Survey of LLMs and Agents for Security Automation. In: Journal of Cybersecurity and Privacy, Vol. 5, No. 4, Article 95, 2025, 1–25.

[7] Tonhauser, M., Ristvej, J., Cybersecurity Automation in Countering Cyberattacks. In: Transportation Research Procedia, Vol. 74, 2023, pp. 1360–1365. Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM 2023). https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.283

[8] Habibzadeh, A., Feyzi, F., Atani, R. E., Large Language Models for Security Operations Centers: A Comprehensive Survey. In: Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 2026, Article 3383674, 2026, pp. 1–38.

[9] Baruwal Chhetri, M., Tariq, S., Singh, R., Jalalvand, F., Paris, C., Nepal, S., Towards Human-AI Teaming to Mitigate Alert Fatigue in Security Operations Centres. In: ACM Transactions on Internet Technology, Vol. 24, No. 3, Article 12, 2024, pp. 1–22.

[10] Nguyen, H.P., Automated Security Operations with SOAR. Bachelor's Thesis, Bachelor of Engineering in Information Technology, Metropolia University of Applied Sciences, Finland, 2025, 37 p.

[11] Karras, A., Theodorakopoulos, L., Karras, C., Theodoropoulou, A., Kalliampakou, I., Kalogeratos, G., LLMs for Cybersecurity in the Big Data Era: A Comprehensive Review of Applications, Challenges, and Future Directions. In: Information, Vol. 16, No. 11, Article 957, 2025, pp. 1–72.

[12] Saju, M. H., Azim, A., Toward Autonomous SOC Operations: End-to-End LLM Framework for Threat Detection, Query Generation, and Resolution in Security Operations. In: Proceedings of Machine Learning Research (PMLR), Vol. 318, The 39th Canadian Conference on Artificial Intelligence, 2026, 12 pp.

[13] Dosunmu, A. A., Ogundele, P. O., Security Orchestration and Automation Models for Accelerating Incident Detection and Response. In: Computer Science & IT Research Journal, Vol. 6, No. 11, 2025, pp. 878–894.

[14] Islam, M.A., Application of Artificial Intelligence and Machine Learning in Security Operations Center. Research Paper submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science in Information Technology, School of Computing, Middle Georgia State University, Macon, Georgia, USA, 2023.

[15] Aljahdali, A. O., Alsulami, R., Streamlining Threat Response and Automating Critical Use Cases with Security Orchestration, Automation and Response (SOAR). In: Journal of Digital Security and Forensics, Vol. 2, No. 1, 2025, pp. 36–57.

[16] Ismail, Kurnia, R., Brata, Z. A., Nelistiani, G. A., Heo, S., Kim, H., Kim, H., Toward Robust Security Orchestration and Automated Response in Security Operations Centers with a Hyper-Automation Approach Using Agentic Artificial Intelligence. In: Information, Vol. 16, No. 5, Article 365, 2025, pp. 1–35.

[17] Paduraru, C., Dumitru, B., Stefanescu, A., Automated Generation of Cybersecurity Response Playbooks via Large Language Models. In: Procedia Computer Science, Vol. 270, 2025, pp. 2987–2996. Proceedings of the 29th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2025).

[18] Dindigala, R., Kumar, V., Creating a Cybersecurity Playbook Best Practices with AI and Machine Learning Strategies. ResearchGate, 2023, 9 pp.

[19] Tilbury, J., Flowerday, S., The Rationality of Automation Bias in Security Operation Centers. In: Journal of Information Systems Security (JISSec), Vol. 20, No. 2, 2024, pp. 87–107

[20] Nguyen, P., Rauniyar, A., Bartel, J., Laufer, J., Dalamagkas, C., Pohl, K., AI-driven digital twin-based security orchestration, automation and response for critical infrastructures. In: Automated Software Engineering, Vol. 33, Article 61, 2026, 1–44.

[21] Casaclang, H., Ionescu, B., Kim, Y., Jo, J.-Y., Self-Hosted Workflow Automation for AI-Based Cybersecurity Operation. In: Journal of The Colloquium for Information Systems Security Education, Vol. 13, No. 1, 2026, pp. 1–21.

[22] Nitz, L., Gurabi, M. A., Cermak, M., Zadnik, M., Karpuk, D., Drichel, A., Schäfer, S., Holmes, B., Mandal, A., On Collaboration and Automation in the Context of Threat Detection and Response with Privacy-Preserving Features. In: Digital Threats: Research and Practice, Vol. 6, No. 1, Article 5, 2025, pp. 1–36.

[23] Vinay, V., The Evolution of Agentic AI in Cybersecurity: From Single LLM Reasoners to Multi-Agent Systems and Autonomous Pipelines. In: 2026 IEEE 5th International Conference on AI in Cybersecurity (ICAIC), IEEE, 2026, 8 pp.

[24] Alqahtani, H., Kumar, G., Large Language Models for Cybersecurity Intelligence: A Systematic Review of Emerging Threats, Defensive Capabilities, and Security Evaluation Frameworks. In: Computers, Materials & Continua, Vol. 87, No. 3, Article 9, 2026, pp. 1–71.

[25] Rabieinejad, E., Dehghantanha, A., Zarrinkalam, F., Dastgerdy, S., Beyond the Hype: Evaluating LLM Integration and Practical Limitations in Security Operation Centers. In: arXiv preprint, arXiv:2608.17154, 2026, pp. 1–21.

[26] Turner, M. A., Whitfield, D. R., Morales, J. L., Bennett, S. K., James, A., Human-in-the-Loop Decision-Making in AI-Driven Cyber Defense. ResearchGate, 2025, 7 pp.

[27] Sugumar, R., Next-Generation Security Operations Center (SOC) Resilience: Autonomous Detection and Adaptive Incident Response Using Cognitive AI Agents. In: International Journal of Technology Management & Humanities (IJTMH), Vol. 10, No. 2, 2024, pp. 62–76.

[28] Addis, R., Porter, K., Ryan, J., Stull, M., Xu, S., Wagner, P., Honomichl, R., Forsyth, S., LLM-Based Intelligent Agents for Cybersecurity: A Tutorial and Survey of Automated Vulnerability Discovery. In: IEEE Access, Vol. 14, 2026, pp. 100884–100917.

[29] Lazaros, K., Vrahatis, A.G., Kotsiantis, S., Human-in-the-Loop Artificial Intelligence: A Systematic Review of Concepts, Methods, and Applications. In: Entropy, Vol. 28, No. 4, Article 377, 2026, pp. 1–50.

[30] Karunamurthy, A., Kiruthivasan, R., Gauthamkrishna, S., Human-in-the-Loop Intelligence: Advancing AI-Centric Cybersecurity for the Future. In: Quing: International Journal of Multidisciplinary Scientific Research and Development, Vol. 2, No. 3, 2023, pp. 20–43.

FROM SURVEYING TO CONSTRUCTION LAYOUT: AN INTEGRATED DIGITAL GEODETIC WORKFLOW FOR A KARTING COMPLEX

ANI A. STEFANOVA, ANA D. DIMITROVA

ABSTRACT: *The rapid development of digital technologies is transforming engineering design and geodetic practice. Within the concept of Geodesy 4.0, geospatial information is increasingly integrated into digital workflows supporting infrastructure planning and design. This paper presents an integrated digital geodetic workflow applied to the design of a karting complex near the village of Vratitsa, Bulgaria. The workflow combines geodetic surveying, terrain modelling, design development, and construction layout planning within a common digital environment using Autodesk Civil 3D. The results demonstrate that the use of a digital terrain model as a unified spatial basis improves data continuity, reduces repeated processing of geospatial information, and supports efficient coordination between project stages. The study confirms the applicability of Geodesy 4.0 principles to sports infrastructure design.*

KEYWORDS: *digital geodetic workflow; sports infrastructure; digital terrain model; engineering geodesy; construction layout; Autodesk Civil 3D; Geodesy 4.0*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26AAS

1 Introduction

The ongoing digital transformation of engineering and geospatial disciplines has led to the emergence of new approaches for the acquisition, processing, management, and application of spatial data. The concept of Geodesy 4.0 reflects this transition by integrating digital technologies, geospatial information systems, automation, and intelligent digital environments into contemporary geodetic practice [11].

In modern infrastructure projects, geodetic activities extend beyond data acquisition and geometric control to support planning, design, construction, and spatial information management [3, 12]. Geodetic information, therefore, serves as a fundamental component throughout the project lifecycle, from terrain surveying and digital terrain modelling to project implementation. The integration of geodetic and engineering activities within digital environments improves data consistency and supports more efficient decision-making [8].

Sports infrastructure projects represent a specific category of engineering facilities where accurate terrain representation and coordinated geometric design are essential. Karting complexes, in particular, require precise control of horizontal and vertical geometry, surface grading, and stormwater runoff management, making them suitable case studies for evaluating the application of integrated digital geodetic technologies.

This study presents an integrated digital geodetic workflow applied to the design of a karting complex located near the village of Vratitsa, Bulgaria. The study demonstrates how geodetic and engineering activities can be integrated within a digital design workflow, contributing to the implementation of Geodesy 4.0 principles in sports infrastructure design [11].

2 Study Area and Project Characteristics

The study was conducted for the design of a karting complex located near the village of Vratitsa, Kameno Municipality, Burgas Region, Bulgaria. The project area encompasses three cadastral properties (12245.18.53, 12245.18.11, and 12245.18.12) situated in the locality “Kayata”, with a total area of approximately 110 decares (11 ha).

The selected site is characterized by relatively steep and variable terrain, creating specific challenges for infrastructure planning and requiring detailed geodetic analysis. Terrain conditions significantly influence the design of the transport network, drainage system, vertical planning, and the geometric configuration of the karting track and associated facilities.

The proposed sports complex includes a karting track as the primary functional element, together with supporting infrastructure such as parking areas, service roads, pedestrian zones, green spaces, administrative and service buildings, commercial facilities, and recreational areas.

The spatial organization of the proposed karting complex is presented in Figure 1. The figure illustrates the functional layout of the karting track and its associated facilities, adapted to the existing terrain conditions.

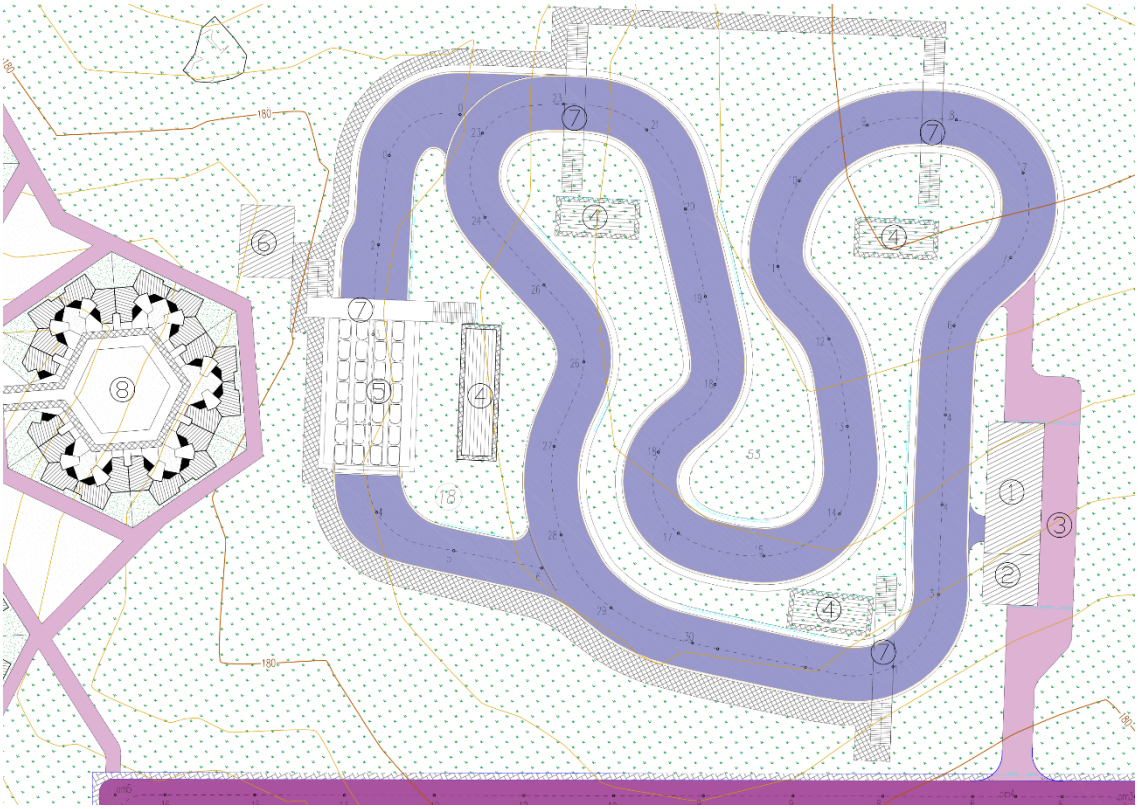


Figure 1. Functional layout of the karting track and associated facilities.

3 Geodetic Data Acquisition and Terrain Modelling

The digital workflow was initiated through geodetic surveying and processing of spatial data describing the existing terrain conditions within the project area. The acquired data formed the basis for all subsequent design activities [9, 12].

The geodetic survey included characteristic terrain points, contour information, and boundary elements required for generating the digital terrain model. The acquired spatial data were referenced to the Bulgarian Geodetic System 2005 (BGS2005) and the Baltic Height System. Based on the survey data, a digital terrain model (DTM) was generated and used as the primary spatial dataset for design and planning activities [2, 6].

The model enabled the assessment of slope conditions, elevation differences, drainage patterns, and terrain-related constraints affecting the proposed infrastructure. A triangulated irregular network (TIN) was used to represent the terrain surface, preserving significant terrain

features while providing an efficient basis for subsequent engineering analyses and design operations [6, 7].

The resulting digital terrain model served as the foundation for all subsequent design and geodetic activities, ensuring a consistent spatial basis throughout the project.

4 Integrated Digital Geodetic Workflow

The integrated digital workflow developed for the design of the karting complex consists of several sequential but interconnected stages. Each stage generates geodetic and engineering outputs that serve as input data for subsequent project activities. The workflow structure is summarized in Table 1.

Table 1
Main stages and outputs of the integrated digital geodetic workflow

Stage	Main Activity	Output
1	Geodetic survey	Topographic survey dataset
2	Terrain modelling	Digital Terrain Model (TIN)
3	General planning	General site plan
4	Profile design	Longitudinal profiles
5	Vertical planning	Grading and elevation model
6	Geodetic control network design	Engineering geodetic control network
7	Construction layout planning	Staking out documentation

The outputs generated at each stage are integrated within a common digital environment, ensuring data consistency and supporting efficient information exchange throughout the project lifecycle.

4.1. General Plan Development

The general plan was developed following the creation of the digital terrain model.

The planning process considered both the existing terrain conditions and the functional requirements of the future sports facility. The karting track was established as the central element of the development. At the same time, the remaining components, including parking areas, service roads, pedestrian zones, green spaces, commercial facilities, and supporting infrastructure, were arranged to ensure efficient circulation, accessibility, and operational functionality.

The arrangement of the functional zones was optimized according to terrain morphology, accessibility requirements, and future traffic circulation. The digital terrain model facilitated the evaluation of alternative spatial configurations and supported the selection of the final layout solution. Particular attention was paid to minimizing earthworks and ensuring compatibility with the existing terrain.

The resulting general plan provided the basis for subsequent design and implementation activities.

4.2. Profile Design

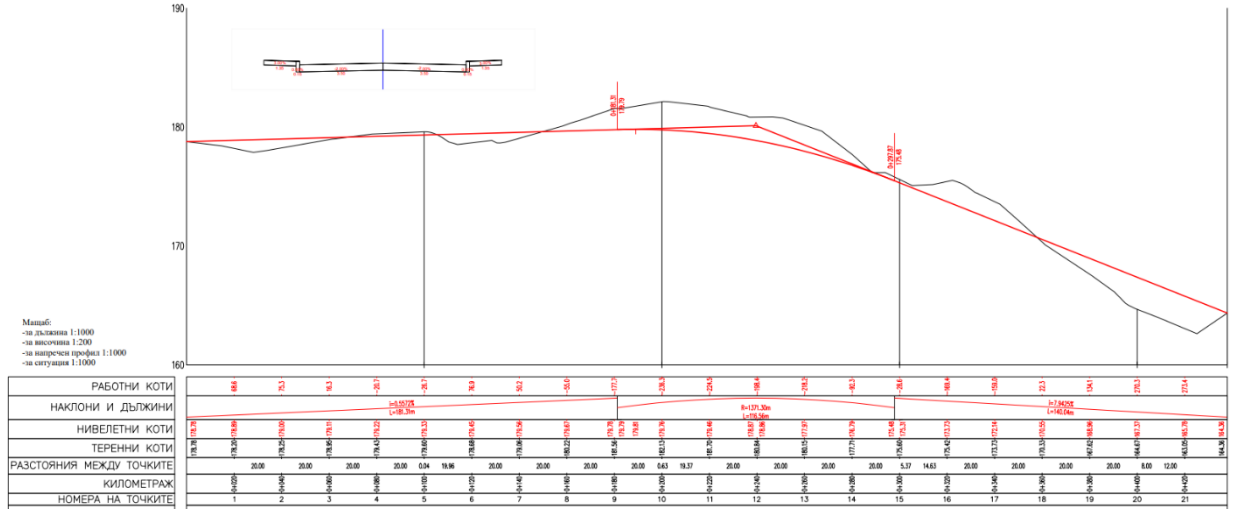
Profile design constituted an important stage within the integrated digital workflow, linking the digital terrain model with the development of project elevations [3]. Longitudinal profiles were prepared for both the karting track and the service road to evaluate terrain variations and support the subsequent vertical planning process.

The generated profiles enabled the assessment of terrain variations, slope conditions, and design elevations for both the karting track and the service road. The analyses supported the

development of vertical geometry compatible with the existing terrain while ensuring operational functionality and drainage requirements.

Representative longitudinal profiles developed for the service road and the karting track are shown in Figure 2. The profiles illustrate the relationship between existing terrain and proposed design elevations along the project alignments.

(a) Service Road



(b) Karting Track

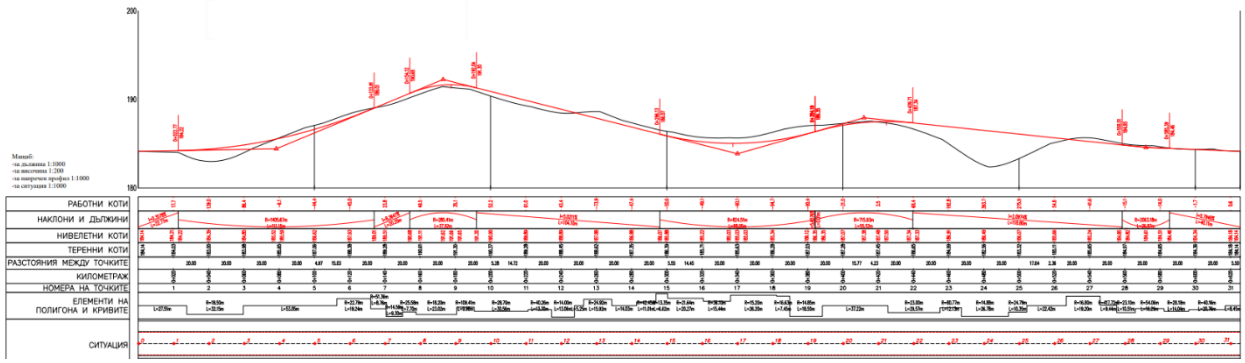


Figure 2. Longitudinal profiles of (a) the service road and (b) the karting track showing the relationship between existing terrain and design elevations.

4.3. Vertical Planning

Vertical planning represented a key component of the integrated digital workflow, linking the existing terrain conditions with the proposed functional requirements of the karting complex. The importance of vertical planning and surface grading for ensuring proper drainage conditions and functional performance has also been emphasized in studies related to transport infrastructure design [5]. Based on the digital terrain model and the previously developed profiles, project elevations were defined for the karting track, service roads, parking areas, pedestrian zones, and adjacent facilities. The design was supported by the grading and surface modelling functionalities available in Autodesk Civil 3D [1].

The vertical planning solution ensured compatibility between the proposed infrastructure and the existing terrain. Particular attention was paid to the distribution of design elevations,

surface gradients, and water management requirements in order to provide reliable operation of the infrastructure and minimize potential water accumulation within the project area.

Developed at the conceptual design stage, the vertical planning solution was integrated with the terrain model and profile design, providing the basis for defining construction elevations and drainage directions across the site.

The resulting solution for the karting track is illustrated in Figure 3, which demonstrates the distribution of design elevations and grading elements developed to ensure effective runoff control and operational safety.

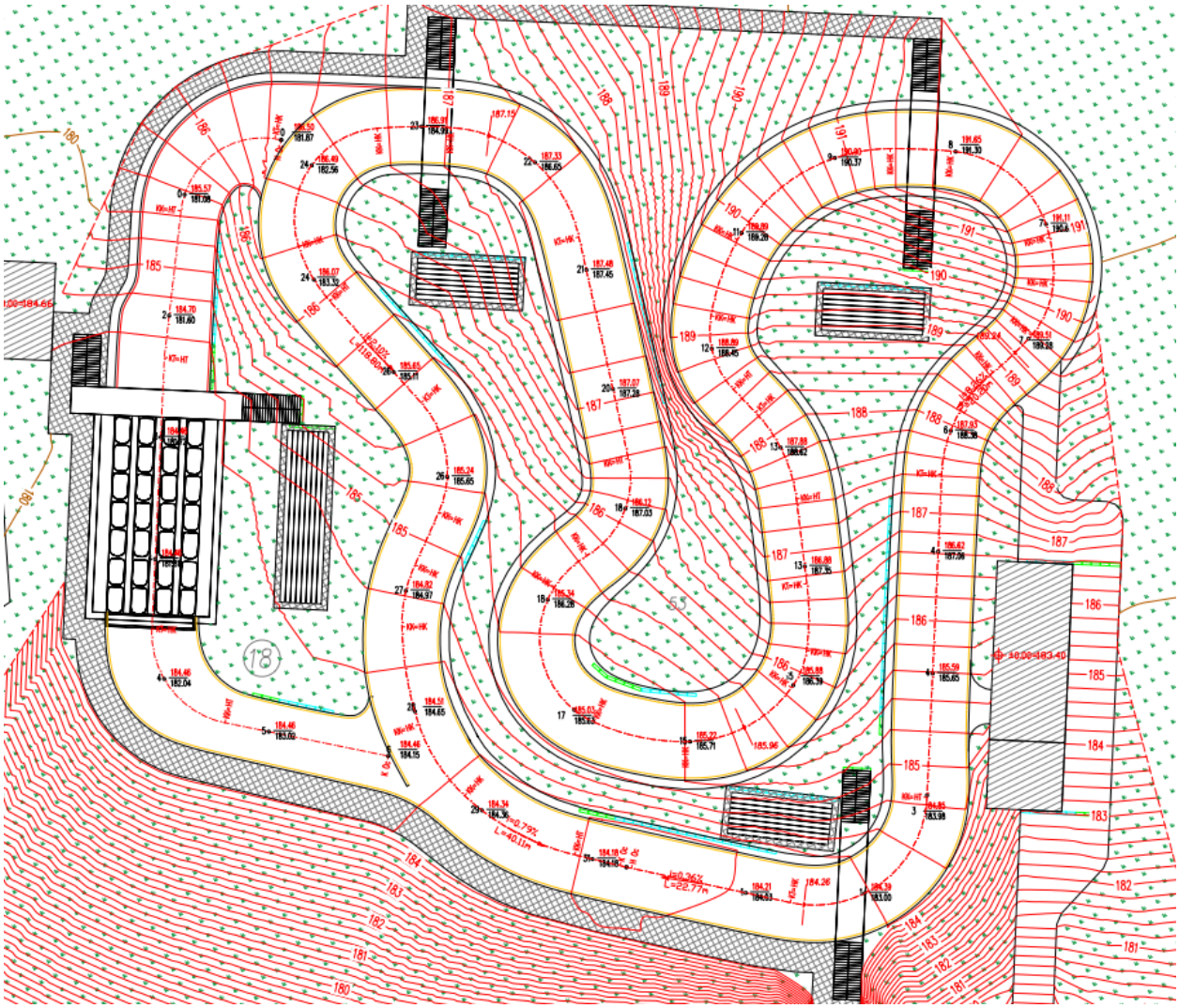


Figure 3. Vertical planning scheme of the karting track illustrating the relationship between design elevations and terrain morphology.

4.4. Engineering Geodetic Control Network

An engineering geodetic control network consisting of horizontal and vertical control elements was designed to support construction layout activities and future monitoring tasks [9, 12]. The network provided the spatial reference framework required for positioning the designed facilities and implementing construction staking operations. Horizontal control points and leveling benchmarks were established to support both planimetric and vertical control throughout the project area.

4.5. Construction Layout Planning

Construction layout planning represented the final stage of the integrated geodetic workflow. Based on the design documentation and the engineering geodetic control network, layout plans were prepared for the principal components of the karting complex, including the karting track, service roads, parking areas, recreational zones, and buildings [3].

The layout documentation included the characteristic points and coordinates required for the accurate transfer of the digital design to the physical terrain. These data supported construction staking and quality control during project implementation [13].

An example of the construction layout documentation is presented in Figure 4.

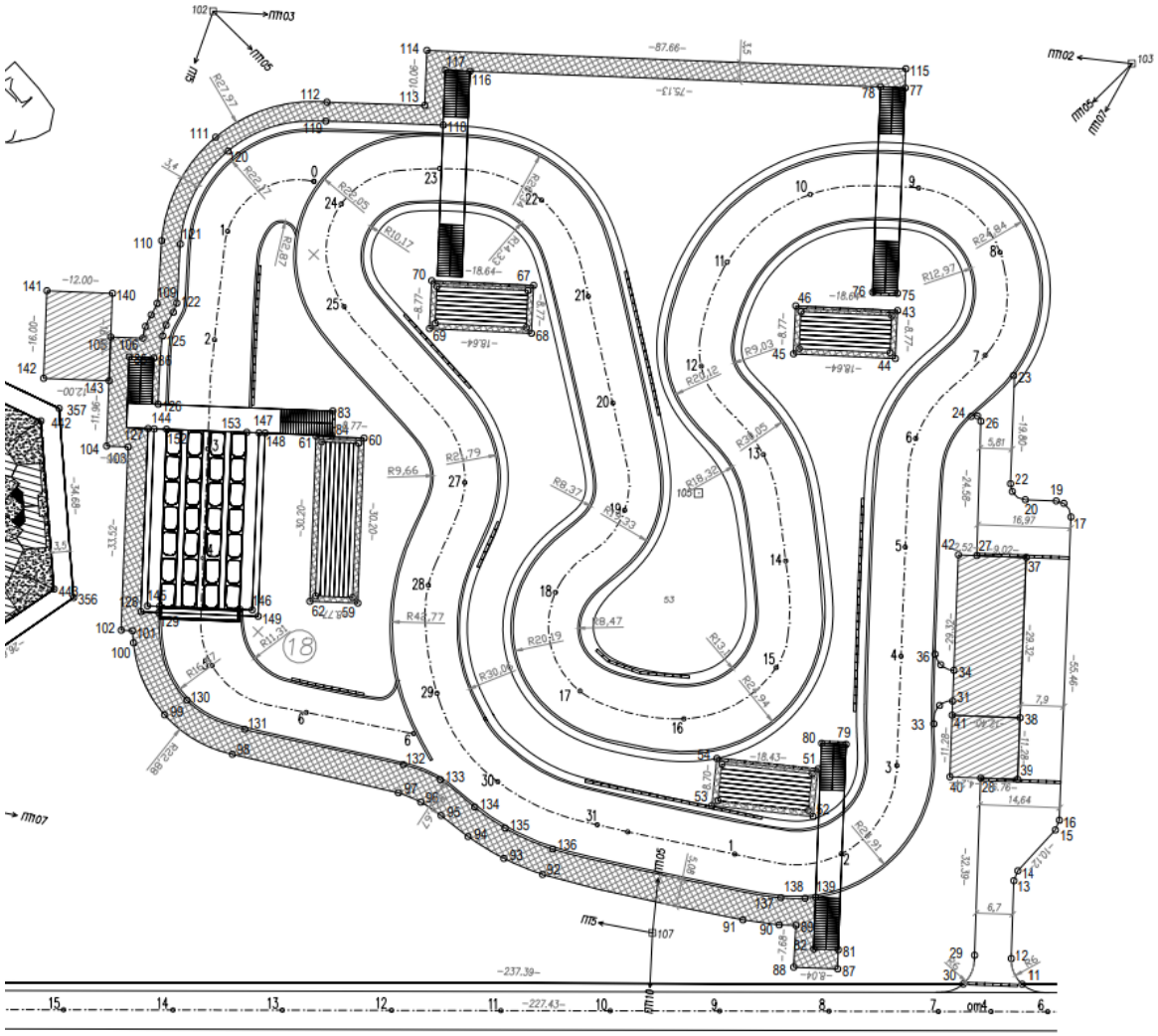


Figure 4. Construction layout plan of the karting track showing characteristic staking-out points.

5 Discussion in the Context of Geodesy 4.0

The presented case study demonstrates the transformation of engineering geodesy into an integral component of digital engineering processes. Consistent with the principles of Geodesy 4.0, geospatial information was integrated with terrain modelling, design development, and construction layout planning within a common digital environment [11].

A key factor in this integration was the use of a unified terrain dataset as the primary spatial reference throughout the project, supporting consistency between project stages and reducing

repeated data processing [4, 6, 11]. The integration of surveying information with digital modelling tools also improved visualization, supported design decision-making, and enhanced coordination between project participants [8].

The case study demonstrates that digital integration reduces information fragmentation between surveying, design, and construction phases, which is one of the central objectives of Geodesy 4.0. Beyond traditional surveying activities, geodetic specialists increasingly contribute to the management, validation, and integration of spatial information throughout the project lifecycle.

The results indicate that Geodesy 4.0 principles apply not only to large-scale infrastructure projects but also to specialized facilities such as sports complexes.

Table 2 summarizes the main differences between traditional geodetic project development and the integrated digital workflow applied in the present study.

Table 2

Comparison between traditional and integrated digital geodetic workflows

Project Stage	Traditional Workflow	Integrated Digital Workflow
Terrain modelling	Independent processing and data exchange between software environments	Common digital terrain model used throughout the project
General planning	Separate design datasets	Direct interaction with the digital terrain model
Profile design	Repeated data transfer and updates	Dynamic connection with terrain and design data
Vertical planning	Multiple manual adjustments	Coordinated grading within a common environment
Geodetic control network	Designed separately from design documentation	Integrated with the digital project model
Construction layout planning	Independent preparation of staking-out data	Direct extraction from the integrated digital model
Data consistency	Potential inconsistencies between stages	Continuous spatial data consistency
Project coordination	Limited interoperability	Improved coordination and information exchange

The comparison highlights the benefits of the integrated workflow, including improved data consistency, reduced repeated processing of geospatial information, and enhanced coordination between design and implementation activities.

6 Conclusion

This study presented an integrated digital geodetic workflow for the design of a karting complex located near the village of Vratitsa, Bulgaria. The proposed approach demonstrated how geodetic and engineering activities can be integrated within a unified digital process supporting project planning, design, and implementation.

The results highlight the value of digital geodetic technologies in contemporary engineering practice. The use of a common digital terrain model and an integrated workflow improved data continuity, reduced repeated processing of spatial information, and supported efficient coordination between design and construction-related activities.

The case study demonstrates the practical applicability of integrated digital geodetic workflows, consistent with the principles of Geodesy 4.0, in sports infrastructure projects. The

proposed workflow supports more efficient project development, improved coordination between project stages, and informed engineering decision-making.

Future research may focus on extending the proposed workflow through the integration of emerging intelligent geospatial technologies. A separate direction for future consideration is 3D laser scanning, discussed in [10].

REFERENCES:

[1] Autodesk, Autodesk Civil 3D Help, 2025, https://help.autodesk.com

[2] Florinsky, I.V., Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology, 2nd ed., Academic Press, 2016.

[3] Ghilani, C.D., Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics, 15th ed., Pearson, 2017.

[4] Goodchild, M.F., Reimagining the History of GIS, Annals of GIS, Vol. 24, No. 1, 2018, 1–8, DOI: 10.1080/19475683.2018.1424737.

[5] Ilieva, E., Design of Raised Intersections – Requirements for Vertical Planning and Drainage, Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Vol. 56, No. 2, 2023, 897–910.

[6] Li, Z., Zhu, Q., Gold, C., Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, CRC Press, Boca Raton, 2005.

[7] Pike, R.J., Evans, I.S., Hengl, T., Geomorphometry: A Brief Guide, In: Hengl, T., Reuter, H.I. (Eds.), Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science, Vol. 33, Elsevier, 2008.

[8] Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P., BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 3rd ed., John Wiley & Sons, 2018, ISBN 978-1119287537.

[9] Schofield, W., Breach, M., Engineering Surveying, 6th ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2007.

[10] Lalev H., Tsankov Ts., Nikolov I. 3D Laser Scanning. Scientific Conference MATTEH 2010, Shumen, 2010/2011, ISSN 1314-3921.

[11] Stefanova, A.A., Geodesy 4.0: Scientific and Methodological Foundations and Applications of Intelligent Technologies in Geodesy [in Bulgarian], Self-published, Sofia, Bulgaria, 2026, ISBN 978-619-93968-0-3.

[12] United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM), United Nations Integrated Geospatial Information Framework (UN-IGIF): Implementation Guide, United Nations, 2022.

[13] Uren, J., Price, W.F., Surveying for Engineers, 5th ed., Palgrave Macmillan, Basingstoke, 2010.

SURVEYOR 4.0: A COMPETENCY FRAMEWORK FOR GEOSPATIAL PROFESSIONALS IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ANI A. STEFANOVA

ABSTRACT: *The integration of artificial intelligence (AI), automation, digital twins, cloud computing, and advanced geospatial technologies is transforming surveying practice and redefining professional competency requirements. This paper examines the evolution of the surveying profession in the context of Geodesy 4.0 and identifies the emerging competencies required for effective participation in intelligent geospatial environments. Based on current technological developments, academic literature, and professional trends, a conceptual Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF) is proposed. The framework organizes competencies into five domains: Core Geodetic Competencies, Digital Competencies, Artificial Intelligence and Data Competencies, Collaborative Competencies, and Ethical and Regulatory Competencies. The proposed model provides a basis for understanding the evolving role of Surveyor 4.0 and may support future curriculum development, competency standards, and professional training in the era of intelligent geospatial technologies.*

KEYWORDS: *Surveyor 4.0; Geodesy 4.0; artificial intelligence; GeoAI; geospatial competencies; digital transformation*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26AAT

1 Introduction

The digital transformation of geospatial technologies is reshaping the surveying profession and redefining the competencies required for contemporary geospatial practice. Recent advances in artificial intelligence (AI), automation, cloud computing, digital twins, the Internet of Things (IoT), and advanced spatial analytics have expanded the scope of geodetic activities and enabled new forms of data-driven decision-making. These developments are commonly associated with the concept of Geodesy 4.0, which reflects the integration of intelligent technologies into geodetic processes and geospatial information management [4].

Traditionally, surveyors have been responsible for the acquisition, processing, and interpretation of spatial data through precise measurements and geodetic computations. However, modern geospatial environments increasingly require professionals to manage large and heterogeneous datasets, work with integrated digital platforms, and support decision-making processes across multiple disciplines. Consequently, the professional profile of the surveyor is expanding beyond conventional measurement and engineering competencies.

The growing adoption of AI within geospatial applications has accelerated this evolution. AI-based methods are increasingly used for object detection, point cloud classification, automated mapping, predictive modelling, and infrastructure monitoring [9, 10, 12, 13]. As a result, geospatial professionals are expected to combine traditional geodetic expertise with competencies related to data analytics, programming, machine learning, digital collaboration, and responsible use of intelligent systems.

While the technological aspects of digital transformation have received considerable attention in recent years, the implications for professional competencies remain less systematically explored. At the same time, research on engineering education, international organizations, and industry reports emphasize the growing importance of digital, analytical, and interdisciplinary skills for the future workforce [7, 8, 11]. These developments raise an important question: which competencies will define the future geospatial professional in the era of Geodesy 4.0?

This study aims to analyse the transformation of the surveying profession in the context of Geodesy 4.0 and to propose a conceptual Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF). The framework identifies and structures the key competency domains required for future geospatial professionals and provides a conceptual basis for understanding the evolving role of Surveyor 4.0 within AI-enabled geospatial systems.

2 Evolution of the Surveying Profession in the Context of Geodesy 4.0

The surveying profession has continuously evolved in response to technological progress and changing societal demands. From its traditional role focused on precise measurements and spatial referencing, surveying has gradually developed into a multidisciplinary profession that integrates geospatial technologies, information systems, automation, and data-driven processes.

Historically, surveyors were primarily responsible for field measurements, geodetic computations, cadastral surveys, engineering surveying, and cartographic production. Professional activities relied largely on manual observations, specialized instruments, and mathematical processing of relatively limited datasets. Accuracy, reliability, and technical expertise constituted the foundation of professional practice.

The widespread adoption of digital technologies during the late twentieth and early twenty-first centuries marked a significant turning point in the evolution of the profession. Geographic Information Systems (GIS), Global Navigation Satellite Systems (GNSS), digital photogrammetry, remote sensing, and computer-aided design expanded both the scope and complexity of surveying activities. This period gave rise to the concept of the *Digital Surveyor*, characterized by the ability to manage digital spatial information and integrate data from multiple technological sources.

The current stage of professional development is associated with the emergence of *Geodesy 4.0*, where artificial intelligence, cloud computing, digital twins, Internet of Things (IoT) technologies, and advanced geospatial analytics are increasingly integrated into surveying workflows [4]. Intelligent systems now support data acquisition, processing, visualization, and decision-making, enabling higher levels of automation and operational efficiency.

As routine technical tasks become increasingly automated, the professional role of surveyors is shifting from data collection toward data interpretation, validation, integration, and strategic decision support. This transition has led to the emergence of a new professional paradigm referred to in this study as *Surveyor 4.0*. Unlike the traditional surveyor, whose primary focus was measurement, or the digital surveyor, whose role centered on digital data management, Surveyor 4.0 operates within intelligent geospatial ecosystems where human expertise and AI-assisted technologies function as complementary components of professional practice.

An intermediate stage in this evolution can be described as the *Intelligent Surveyor*, characterized by the adoption of AI-assisted workflows, automation, BIM integration, and real-time geospatial analytics. While this stage focuses primarily on technological enhancement of surveying processes, Surveyor 4.0 represents a broader professional paradigm that incorporates human–AI collaboration, interdisciplinary decision-making, ethical responsibility, and value creation through intelligent geospatial ecosystems.

In this sense, Surveyor 4.0 extends beyond technological capability and reflects the transformation of the surveying profession into a strategic, data-driven, and socially responsible discipline.

The evolution from Traditional Surveyor to Surveyor 4.0 is illustrated conceptually in Figure 1.

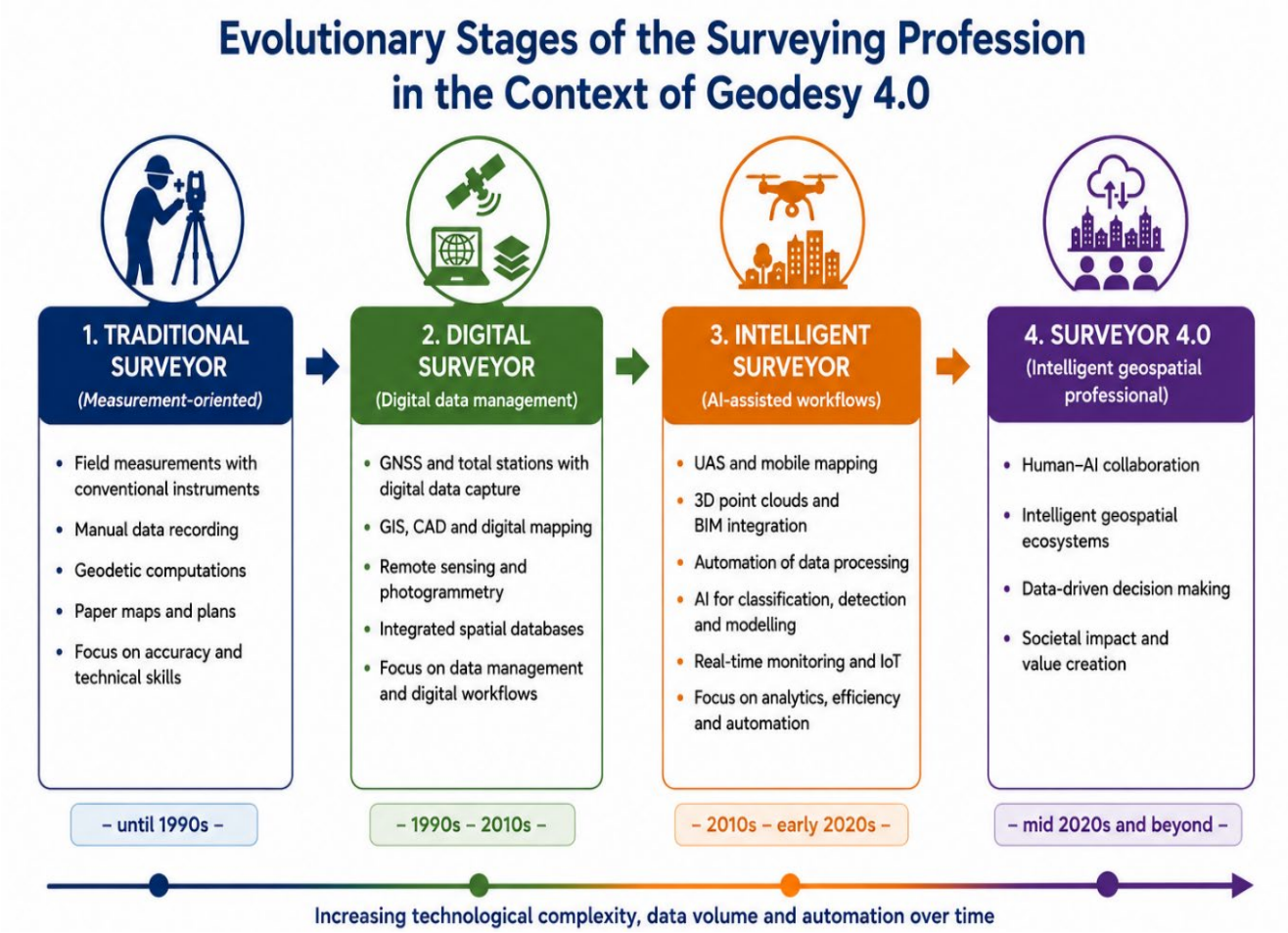


Figure 1. Evolutionary Stages of the Surveying Profession in the Context of Geodesy 4.0.

3 Emerging Competencies for Surveyor 4.0

The transition toward intelligent geospatial ecosystems requires a redefinition of professional competencies within the surveying sector. While traditional geodetic expertise remains fundamental, Surveyor 4.0 must increasingly combine engineering knowledge with digital literacy, data analytics, artificial intelligence, and interdisciplinary collaboration. Recent studies and international competency frameworks emphasize that future professionals will require a broader set of technical, analytical, and socio-ethical skills to operate effectively in technology-driven environments [7, 8].

Based on the analysis of current technological trends and professional requirements, the competencies of Surveyor 4.0 can be organized into five interconnected domains: Core Geodetic Competencies, Digital Competencies, Artificial Intelligence and Data Competencies, Collaborative Competencies, and Ethical and Regulatory Competencies.

3.1. Core Geodetic Competencies

Despite the increasing level of automation in geospatial workflows, fundamental geodetic knowledge remains the foundation of professional practice. Surveyors must possess competencies related to geodetic measurements, reference systems, coordinate transformations, adjustment computations, engineering surveying, deformation monitoring, and quality assurance. These competencies ensure the reliability, accuracy, and scientific validity of geospatial information.

3.2. Digital Competencies

Digital transformation has significantly expanded the technological environment in which surveyors operate. Modern professionals are expected to work with GIS, BIM, spatial databases, remote sensing technologies, cloud platforms, and digital twins. Digital competencies include the ability to acquire, manage, integrate, visualize, and share geospatial information within interconnected digital infrastructures.

3.3. Artificial Intelligence and Data Competencies

The increasing adoption of GeoAI and intelligent geospatial systems has created a growing demand for competencies related to data analytics and artificial intelligence [2]. Surveyor 4.0 should be capable of working with machine learning applications, geospatial data analytics, programming and scripting environments, automated mapping systems, and large geospatial datasets. These competencies support the effective use of AI-assisted workflows while maintaining professional responsibility for the quality and interpretation of results.

3.4. Collaborative Competencies

Contemporary geospatial projects increasingly involve interdisciplinary teams composed of surveyors, engineers, computer scientists, planners, and environmental specialists. Consequently, Surveyor 4.0 must possess communication, teamwork, project management, and problem-solving skills that enable effective collaboration across professional domains. Adaptability and continuous learning are equally important in rapidly evolving technological environments.

3.5. Ethical and Regulatory Competencies

The integration of artificial intelligence into geospatial applications introduces important ethical and regulatory challenges. Professionals must understand issues related to data privacy, cybersecurity, algorithmic transparency, intellectual property, and regulatory compliance. Ethical awareness is increasingly recognized as a core professional competency, ensuring the responsible, transparent, and socially beneficial use of intelligent geospatial technologies [3].

The five competency domains described above provide the conceptual basis for the proposed Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF), presented in Section 4.

4 Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF)

The transformation of the surveying profession requires a structured approach for identifying and organizing the competencies needed for effective professional performance in intelligent geospatial environments. Based on the analysis presented in the previous sections and existing research on GeoAI, digital transformation, and future workforce competencies [2, 7, 8], this study proposes the Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF), a conceptual model that integrates traditional geodetic expertise with emerging technological, analytical, and interdisciplinary competencies.

The framework is intended to support the adaptation of geospatial professionals to the requirements of Geodesy 4.0 and to provide a reference model for higher education institutions, professional organizations, and lifelong learning initiatives. Building upon the competency domains identified in Section 3, the proposed S4CF integrates them into a unified framework supporting professional adaptation to Geodesy 4.0.

Table 1 highlights the fundamental differences between the traditional surveying profile and the emerging Surveyor 4.0 paradigm. While core competencies in measurement and geodetic computations remain indispensable, modern professionals are increasingly expected to operate within intelligent digital ecosystems characterized by automation, artificial intelligence, cloud infrastructure, and interdisciplinary collaboration. The transition, therefore, represents not a

replacement of traditional expertise but an expansion of the competency portfolio required for effective professional practice.

Table 1
Comparison between Traditional Surveyor and Surveyor 4.0

Competency Area	Traditional Surveyor	Surveyor 4.0
Field measurements	✓ Core activity	✓ Core activity
Geodetic computations	✓	✓
GIS and spatial databases	Limited	Advanced
BIM integration	Rare	Increasingly important
Cloud-based geospatial platforms	Not required	Required
Digital twins	Not applicable	Required
Programming and scripting	Optional	Increasingly important
AI-assisted analysis	Not applicable	Highly relevant
Automated mapping	Limited	Advanced
Multi-source data integration	Limited	Essential
Interdisciplinary collaboration	Occasional	Continuous
Cybersecurity awareness	Low	Important
Ethical use of AI	Not applicable	Essential
Lifelong learning and reskilling	Recommended	Critical

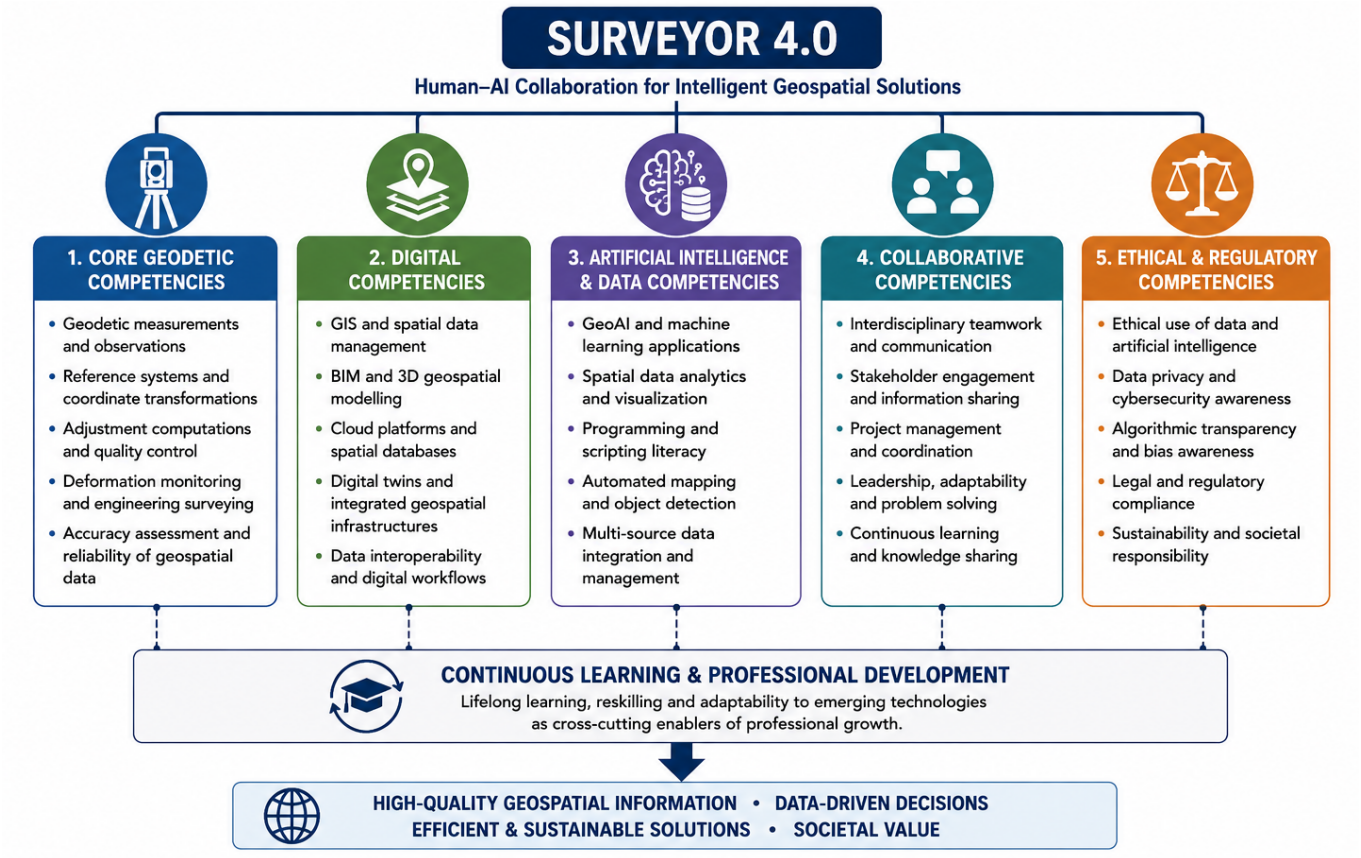


Figure 2. Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF).

Figure 2 illustrates the relationships among the five competency domains of the proposed Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF). Core Geodetic Competencies form the foundation of professional expertise and ensure the reliability and quality of geospatial information. Digital Competencies enable professionals to operate within modern geospatial infrastructures, including GIS, BIM, cloud platforms, and digital twins.

Artificial Intelligence and Data Competencies support the application of intelligent analytical methods, automation, and data-driven decision-making. Collaborative Competencies facilitate effective participation in interdisciplinary environments, while Ethical and Regulatory Competencies ensure the responsible, transparent, and legally compliant use of emerging technologies.

The framework emphasizes that professional effectiveness emerges from the integration of all five competency domains rather than from excellence in any single area. Continuous learning, reskilling, and professional development function as cross-cutting enablers that support the growth and adaptation of Surveyor 4.0 throughout an evolving technological landscape. In this context, artificial intelligence is viewed not as a substitute for professional expertise but as an enabling technology that augments human capabilities and supports more informed geospatial decision-making. The integration of these competencies ultimately contributes to the generation of high-quality geospatial information, data-driven decisions, efficient and sustainable solutions, and broader societal value.

5 Implications for Higher Education and Professional Development

The emergence of Surveyor 4.0 presents significant challenges and opportunities for higher education institutions, professional organizations, and employers within the geospatial sector. The development of professional competencies is also an important subject of pedagogical research [15]. As intelligent technologies continue to transform surveying practice, educational systems must adapt to ensure that future professionals acquire the competencies required for effective participation in increasingly digital, data-driven, and interdisciplinary environments.

Traditional geodetic education has primarily emphasized measurement sciences and engineering competencies. Solutions, problems, and prospects of electronic learning are discussed in [5], while cloud technologies in education are examined in [6]. However, the emergence of Geodesy 4.0 requires the integration of digital, analytical, and AI-related competencies into educational and professional development pathways. The relationship between pedagogical and digital competencies has also been examined in the context of teachers' professional development [14].

Particular attention should be given to the development of practical competencies associated with intelligent geospatial systems, including AI-assisted workflows, geospatial programming, data analytics, and cloud-based geospatial platforms. In addition to technical expertise, future professionals must be able to work effectively in interdisciplinary teams, communicate with diverse stakeholders, and adapt to rapidly evolving technological environments.

Several European and international initiatives provide valuable guidance for the modernization of geospatial education and professional qualification systems. The European Qualifications Framework (EQF) supports the alignment of learning outcomes and competency levels across educational systems, while the European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO) framework facilitates the identification and standardization of emerging digital and geospatial skills [1]. In addition, European initiatives related to Earth observation and geospatial education contribute to the development of competencies related to Earth observation, spatial analytics, and data-driven decision-making.

The rapid pace of technological development also highlights the importance of lifelong learning and continuous professional development. Competencies associated with artificial intelligence and digital transformation evolve considerably faster than traditional engineering knowledge, requiring professionals to engage in continuous upskilling and reskilling throughout their careers [8]. Micro-credentials, specialized certification programs, and flexible learning pathways are expected to play an increasingly important role in maintaining professional relevance and competitiveness.

Finally, educational institutions and professional organizations must address the ethical dimensions of intelligent technologies. Topics such as data privacy, cybersecurity, algorithmic transparency, and responsible AI use should be incorporated into competency frameworks and professional standards [3]. Preparing future Surveyor 4.0 professionals, therefore, requires not only technological expertise but also critical thinking, ethical awareness, and responsible decision-making.

The proposed framework may serve as a reference model for curriculum modernization, competency-based education, and workforce development in the era of intelligent geospatial technologies.

6 Conclusion

The ongoing digital transformation of geodesy is reshaping both professional practice and competency requirements within the surveying sector. Emerging technologies such as artificial intelligence, cloud computing, digital twins, autonomous systems, and advanced geospatial analytics are creating new opportunities while simultaneously increasing the complexity of professional responsibilities.

This study examined the evolution of the surveying profession in the context of Geodesy 4.0 and highlighted the growing importance of competencies that extend beyond traditional geodetic expertise. The findings indicate that future geospatial professionals must combine strong engineering foundations with digital literacy, data analytics, interdisciplinary collaboration, and the responsible use of intelligent technologies.

To address these challenges, the paper proposed the Surveyor 4.0 Competency Framework (S4CF), which organizes professional competencies into five interconnected domains: Core Geodetic Competencies, Digital Competencies, Artificial Intelligence and Data Competencies, Collaborative Competencies, and Ethical and Regulatory Competencies. The framework provides a structured conceptual model describing the professional profile required for successful operation within intelligent geospatial environments.

The proposed model demonstrates that the future of the surveying profession should not be viewed as a replacement of human expertise by artificial intelligence. Instead, Surveyor 4.0 represents a new paradigm based on the integration of traditional geodetic knowledge, advanced digital technologies, and human-centered decision-making.

As a conceptual framework, S4CF is intended to support future discussions on the development of geospatial professions, educational programs, and professional qualification systems. Future research may focus on its empirical validation through expert surveys, competency assessment models, and comparative analyses across different national contexts. The framework contributes to the ongoing discussion on how geospatial professions can remain relevant and competitive in an increasingly AI-driven society.

REFERENCES:

[1] European Commission, ESCO Handbook: European Skills, Competences, Qualifications and Occupations, 2nd ed., Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, DOI: 10.2767/934956.

[2] Li, W., Arundel, S.T., GeoAI and the Future of Spatial Analytics, In: New Thinking in GIScience, Springer Nature Singapore, Singapore, 2022, pp. 151–158.

[3] OECD, Artificial Intelligence in Society, OECD Publishing, Paris, 2019, DOI: 10.1787/eedfee77-en.

[4] Stefanova, A.A., Geodesy 4.0: Scientific and Methodological Foundations and Applications of Intelligent Technologies in Geodesy [in Bulgarian], Self-published, Sofia, Bulgaria, 2026, ISBN 978-619-93968-0-3.

[5] Vardeva, I., Staneva, L. Electronic Learning – Solutions, Problems and Prospects [in Bulgarian]. Annual of "Prof. Dr. Assen Zlatarov" University, Burgas, Vol. 36, No. 2, 2007, pp. 117–120.

[6] Stoyanova, V. Cloud Technologies in Education [in Bulgarian]. Proceedings of the Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, "Vasil Levski" National Military University, Shumen, 2011, pp. 76–82. ISSN 1313-7433.

[7] Tsankov Ts. Problems of Modern Engineering Education. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference "Innovations in Technologies and Education", Vol. 1, Belovo Branch of Kuzbass State Technical University, 2021, ISBN 978-5-00137-236-3, pp. 105–109.

[8] UNESCO, AI Competency Framework for Teachers, UNESCO Publishing, Paris, 2024.

[9] United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM), Future Geospatial Information Ecosystem: From SDI to Knowledge Infrastructure, UN-GGIM, New York, 2025.

[10] Vuorikari, R., Kluzer, S., Punie, Y., DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens - With new examples of knowledge, skills and attitudes, EUR 31006 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-48882-8, DOI:10.2760/115376, JRC128415.

[11] World Economic Forum, The Future of Jobs Report 2025, World Economic Forum, Geneva, 2025.

[12] Zhang, C., Sargent, I., Pan, X., Li, H., Gardiner, A., Hare, J., Atkinson, P.M., An Object-Based Convolutional Neural Network for High-Resolution Remote Sensing Image Classification, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 155, 2019, 197–211.

[13] Zhu, X.X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.-S., Zhang, L., Xu, F., Fraundorfer, F., Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources, IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, Vol. 5, No. 4, 2017, 8–36, DOI: 10.1109/MGRS.2017.2762307

[14] Burova, I. Uncovering the Content of the Concepts of Pedagogical and Digital Competencies as a Basis for Building a Visual Hierarchical Model of Teachers' Professional-Pedagogical Competencies [in Bulgarian]. Education and Development, No. 12, 2023, pp. 72–80.

[15] Burova, I. Competencies and Competence in Education – Professional and Pedagogical Competence of the Teacher [in Bulgarian]. Annual of Shumen University "Bishop Konstantin Preslavsky", Faculty of Education, Vol. XXIX D, 2025, pp. 424–430.

APPLICATION OF NETWORK ANALYSIS AND GRAPH MODELS TO STUDY THE INFLUENCE OF COGNITIVE PROCESSES ON SUBJECTIVE WELL-BEING IN GEOGRAPHY TEACHING*

DANIEL R. DENEV, MADLEN A. TODOROVA

ABSTRACT: *Modern education is increasingly focused on studying the relationship between cognitive processes and the emotional state of students. In the context of geography teaching, this interaction is of particular importance, since the teaching content includes complex spatial, analytical and interpretative activities. This report examines the possibilities of applying network analysis and graph models in studying the influence of cognitive processes on students' subjective well-being. The theoretical foundations of the network approach, the characteristics of cognitive processes in geography teaching and the ways in which graph models can visualize and analyze the complex interrelationships between different factors are presented. The analysis shows that network models provide new opportunities for identifying key elements in the learning process and for developing strategies to improve students' well-being and learning outcomes.*

KEYWORDS: *education, students, teaching*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26DRM

ПРИЛАГАНЕ НА МРЕЖОВ АНАЛИЗ И ГРАФОВИ МОДЕЛИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА КОГНИТИВНИТЕ ПРОЦЕСИ ВЪРХУ СУБЕКТИВНОТО БЛАГОПОЛУЧИЕ В ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОГРАФИЯ

ДАНИЕЛ Р. ДЕНЕВ, МАДЛЕН А. ТОДОРОВА

АБСТРАКТ: *Съвременното образование все по-често се насочва към изследване на връзката между когнитивните процеси и емоционалното състояние на обучаемите. В контекста на обучението по география това взаимодействие придобива особено значение, тъй като учебното съдържание включва сложни пространствени, аналитични и интерпретативни дейности. Настоящият доклад разглежда възможностите за прилагане на мрежов анализ и графови модели при изследването на влиянието на когнитивните процеси върху субективното благополучие на учениците. Представени са теоретичните основи на мрежовия подход, характеристиките на когнитивните процеси в обучението по география и начините, по които графовите модели могат да визуализират и анализират сложните взаимовръзки между различните фактори. Анализът показва, че мрежовите модели предоставят нови възможности за идентифициране на ключови елементи в учебния процес и за разработване на стратегии за подобряване на благополучието и учебните резултати на учениците.*

1 Въведение

Развитието на образователните науки през последните десетилетия поставя все по-голям акцент върху взаимодействието между когнитивните, емоционалните и социалните аспекти на обучението. В този контекст се изследват стиловете на учене, педагогическото общуване и взаимодействието между педагога и учениците [13, 14]. Традиционните педагогически подходи често разглеждат учебните постижения като основен показател за

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

ефективността на образователния процес. В съвременните условия обаче се признава, че субективното благополучие на учениците оказва съществено влияние върху тяхната мотивация, ангажираност и академични успехи. По-широк контекст за ученето по време на пандемията и след нея предоставят резултатите от PISA 2022 [12]. Обучението по география представлява благоприятна среда за изследване на тези взаимовръзки. Усвояването на географски знания изисква развитие на пространствено мислене, аналитични умения, работа с карти, интерпретация на данни и разбиране на сложни природни и обществени процеси. Тези когнитивни дейности могат да оказват различно въздействие върху удовлетвореността, увереността и психологическия комфорт на учениците. В този контекст мрежовият анализ и графовите модели се утвърждават като мощни инструменти за изследване на сложни системи. Те позволяват представяне на различни когнитивни, емоционални и социални фактори като взаимосвързани елементи в единна структура. Чрез тях могат да бъдат открити закономерности, които трудно биха били установени чрез традиционните статистически методи. Целта на настоящия доклад е да анализира възможностите за използване на мрежов анализ и графови модели при изследването на влиянието на когнитивните процеси върху субективното благополучие в обучението по география и да очертае потенциалните ползи от този подход за образователната практика. На фиг. 1 е показано влиянието на когнитивните процеси върху субективното благополучие в обучението по география

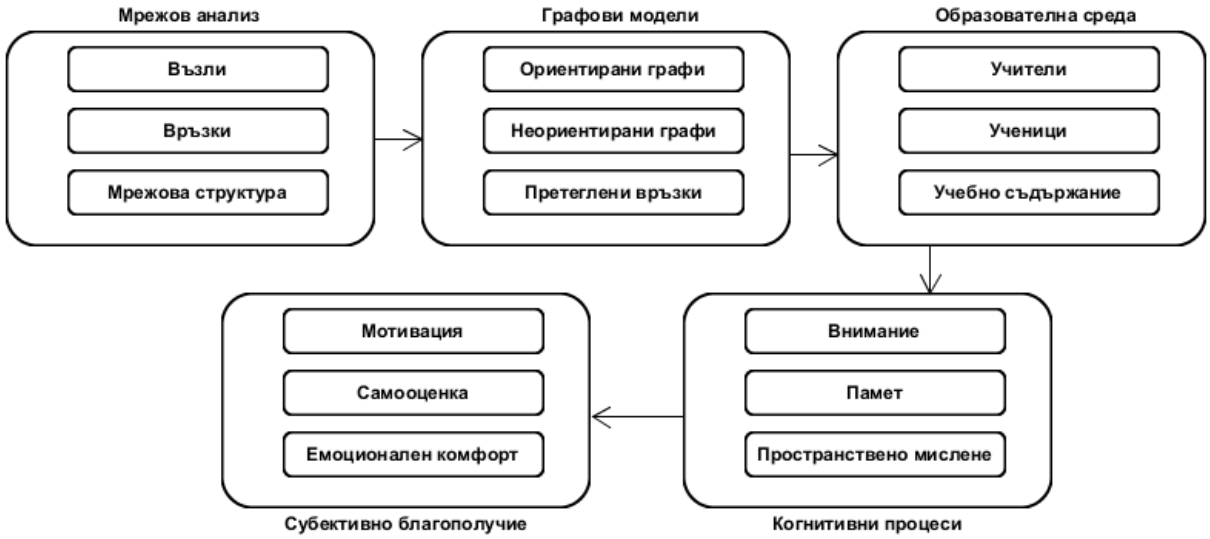


Фиг. 1. Влияние на когнитивните процеси върху субективното благополучие в обучението по география

2 ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА МРЕЖОВИЯ АНАЛИЗ И ГРАФОВИТЕ МОДЕЛИ

Мрежовият анализ представлява интердисциплинарен метод за изследване на системи, състоящи се от взаимосвързани елементи. Основните компоненти на една мрежа са възлите и връзките между тях. В контекста на образованието възлите могат да представляват когнитивни процеси, емоционални състояния или образователни фактори, а връзките – взаимодействията между тях. Графовите модели позволяват визуално и математически да бъдат представени тези отношения. Те предоставят възможност за анализ на структурата на връзките, идентифициране на централни елементи и проследяване на влиянието на определени фактори върху цялата система. Това е особено полезно при изследването на сложни образователни процеси. През последните години мрежовият анализ намира широко приложение в психологията, когнитивните науки и педагогическите изследвания. Неговото предимство е способността да разглежда явленията като динамични

системи от взаимосвързани компоненти, а не като независими променливи. Развитието на теорията на сложните мрежи през последните десетилетия съществено разширява възможностите за анализ на образователните процеси. За разлика от линейните модели, които разглеждат причинно-следствените връзки поотделно, мрежовият подход позволява изследване на множество едновременно действащи фактори. Това е особено важно в образователната среда, където когнитивните, емоционалните и социалните компоненти непрекъснато взаимодействат помежду си и формират сложна система от зависимости. Съществено предимство на графовите модели е възможността за откриване на скрити структури в данните. Чрез използването на различни алгоритми могат да бъдат идентифицирани модели на взаимодействие, които не са видими при традиционния статистически анализ. В образователните изследвания това позволява по-прецизно разбиране на механизмите, които подпомагат или затрудняват процеса на обучение и формирането на положителни учебни преживявания. Теоретичната рамка на мрежовия анализ се основава и на концепцията за системно мислене, според която всяка промяна в един елемент от системата може да предизвика последователни промени в останалите компоненти. В контекста на географското образование това означава, че подобряването на определени когнитивни умения може да окаже влияние върху мотивацията, самоувереността и удовлетвореността от учебния процес, което прави анализа на взаимовръзките особено значим. Теоретичните основи на мрежовия анализ са разгледани в [5, 6]. На фиг. 2 е представена обобщаваща схема за приложението му в обучението по география.



Фиг. 2. Теоретични основи на мрежовия анализ в обучението по география

3 КОГНИТИВНИ ПРОЦЕСИ В ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОГРАФИЯ

Обучението по география изисква активиране на множество когнитивни процеси. Сред тях особено важни са възприятието, вниманието, паметта, пространственото мислене и способността за анализ и синтез на информация [7, 8]. Учениците постоянно обработват данни от карти, диаграми, статистически таблици и географски текстове. Пространственото мислене е един от ключовите когнитивни компоненти в географското образование. То

позволява разбиране на пространствени отношения, географски закономерности и взаимодействия между природни и обществени явления. Развитието на тези умения е пряко свързано с академичните постижения по предмета. Същевременно сложността на географското съдържание може да доведе както до повишена мотивация и удовлетвореност, така и до когнитивно претоварване. Когнитивното натоварване и поведенческите фактори са разгледани и при оценяване на водачи на моторни превозни средства [10]. Поради това е необходимо да се анализира как различните когнитивни процеси влияят върху емоционалното състояние и благополучието на учениците. Освен пространственото мислене, важна роля в обучението по география играят процесите на критично мислене и решаване на проблеми. Учениците често се сблъскват със задачи, изискващи анализ на природни явления, оценка на социално-икономически процеси и интерпретация на различни географски данни. Тези дейности стимулират развитието на по-висши когнитивни умения и подпомагат изграждането на аналитичен подход към реалността. Дигитализацията на образователната среда също променя характера на когнитивните процеси в обучението по география. Използването на географски информационни системи, интерактивни карти и виртуални симулации предоставя нови възможности за обработка и визуализация на информацията [11]. Това изисква от учениците не само усвояване на знания, но и развитие на дигитална грамотност и умения за работа с разнообразни информационни ресурси. Когнитивната ефективност зависи и от способността на учениците да регулират собственото си учене. Метакогнитивните процеси, свързани с планиране, наблюдение и оценяване на учебната дейност, подпомагат по-доброто усвояване на географските знания. Таблица 1 показва оценка на когнитивните процеси.

Таблица 1. Оценка на когнитивните процеси при ученици в обучението по география (N = 100)

Когнитивен процес	Средна стойност (1–10)	Стандартно отклонение	Относителен дял (%)
Внимание	7.8	1.2	21
Памет	7.2	1.4	19
Пространствено мислене	8.4	1.1	23
Критично мислене	7.5	1.3	20
Метакогниция	6.8	1.5	17
Общо	7.54	1.30	100

Данните в Таблица 1 показват, че най-висока средна стойност е отчетена при пространственото мислене (M = 8.4), което е логично предвид спецификата на географското образование и работата с карти, пространствени модели и географски информационни системи. Вниманието също демонстрира високи стойности (M = 7.8), което показва значението му за успешното възприемане и обработка на географската информация. По-ниски стойности се наблюдават при метакогнитивните процеси (M = 6.8), което предполага необходимост от по-целенасочено развитие на уменията за саморегулация, планиране и оценка на собственото учене. Подобни резултати подкрепят необходимостта от прилагане на иновативни педагогически подходи, насочени към изграждане на по-висока когнитивна

автономност на учениците. Получените показатели могат да бъдат използвани като възли в графов модел, чрез който да се анализират връзките между отделните когнитивни процеси и компонентите на субективното благополучие. По този начин се създават предпоставки за по-задълбочено изследване на факторите, които оказват влияние върху учебната мотивация и удовлетвореността от обучението по география.

4 СУБЕКТИВНО БЛАГОПОЛУЧИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛНА СРЕДА

Субективното благополучие се определя като индивидуалната оценка на човека за качеството на собствения му живот, включително преживяваните положителни и отрицателни емоции и общото чувство за удовлетвореност. В образователния контекст това понятие обхваща усещането за комфорт, сигурност, принадлежност и удовлетворение от учебния процес. Изследванията показват, че учениците с по-високо ниво на субективно благополучие демонстрират по-добра учебна мотивация, по-висока ангажираност и по-успешно справяне с учебните предизвикателства. Благополучието оказва влияние както върху академичните резултати, така и върху социалната адаптация. В обучението по география положителните емоции могат да бъдат стимулирани чрез използване на интерактивни методи, картографски технологии и практически дейности. От друга страна, прекомерните изисквания и сложните задачи могат да доведат до стрес и намалена удовлетвореност. Субективното благополучие не се формира единствено от индивидуалните характеристики на ученика, а и от особеностите на образователната среда. Атмосферата в класната стая, качеството на взаимодействие между учители и ученици и възможностите за активно участие в учебния процес оказват съществено влияние върху емоционалното състояние на обучаемите. Благоприятната среда насърчава чувството за сигурност и подкрепя развитието на положителна самооценка. Архитектура на интегрирана система за изграждане на мотивиращо и нестресово обкръжение е разгледана в [1]. Значима роля играе и усещането за успех и компетентност. Когато учениците осъзнават своя напредък и получават признание за постигнатите резултати, се повишава тяхната мотивация и удовлетвореност. В обучението по география това може да бъде постигнато чрез разнообразни практически дейности, проектно-базирано обучение и възможности за самостоятелно изследване на реални географски проблеми. Таблица 2 показва оценка на компонентите на субективното благополучие.

Данните от Таблица 2 показват, че най-висока средна стойност има учебната мотивация (M = 8.1), което свидетелства за висок интерес и ангажираност на учениците към обучението по география. Този резултат може да се обясни с разнообразието от теми, практически дейности и възможности за свързване на учебното съдържание с реални природни и обществени процеси. Високи стойности се наблюдават също при удовлетвореността от обучението (M = 7.9) и емоционалния комфорт (M = 7.8). Това предполага, че учениците възприемат учебната среда като подкрепяща и благоприятна за развитие на знания и умения. Положителният психологически климат е важна предпоставка за ефективно усвояване на географската информация и за изграждане на устойчив интерес към предмета. Сравнително по-ниски стойности са отчетени при чувството за принадлежност към класа (M = 6.9) и самоувереността при изпълнение на задачи (M = 7.4). Тези резултати насочват към необходимостта от насърчаване на сътрудничеството между учениците и прилагане на методи, които повишават увереността в собствените способности. В контекста на мрежовия анализ посочените компоненти могат да бъдат разглеждани като взаимосвързани възли, чието взаимодействие влияе върху цялостното субективно благополучие на обучаемите

Таблица 2. Оценка на компонентите на субективното благополучие при ученици в обучението по география (N = 100)

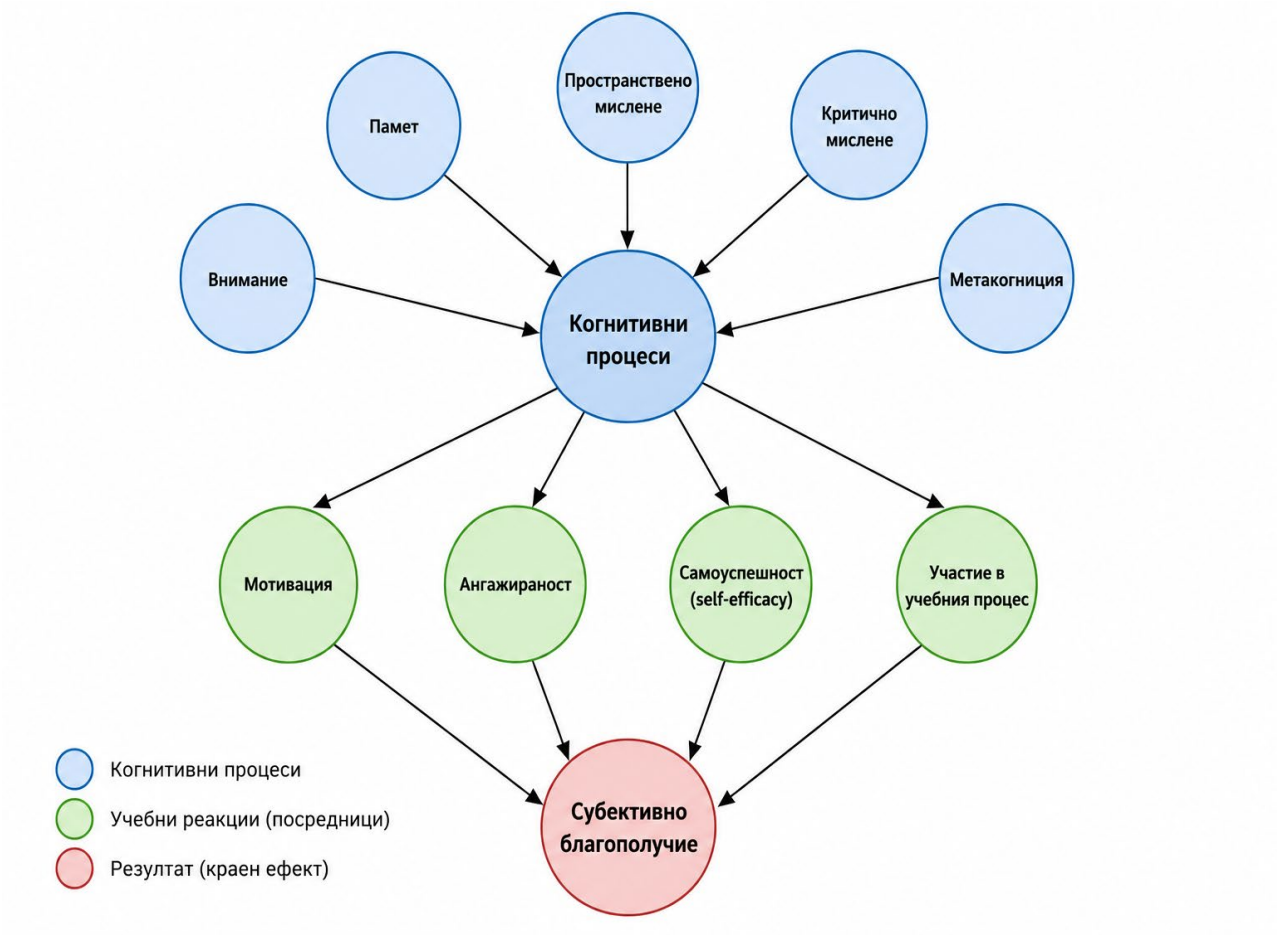
Компонент на субективното благополучие	Средна стойност (1–10)	Стандартно отклонение	Относителен дял (%)
Учебна мотивация	8.1	1.2	22
Удовлетвореност от обучението	7.9	1.3	21
Самоувереност при изпълнение на задачи	7.4	1.4	20
Емоционален комфорт в учебна среда	7.8	1.1	21
Чувство за принадлежност към класа	6.9	1.5	16
Общо	7.62	1.30	100

5 ПРИЛАГАНЕ НА ГРАФОВИ МОДЕЛИ ЗА АНАЛИЗ НА ВЗАИМОВРЪЗКИТЕ

Графовите модели предоставят възможност да бъдат визуализирани взаимовръзките между когнитивните процеси и различните компоненти на субективното благополучие. Например възли в мрежата могат да бъдат концентрацията, пространственото мислене, мотивацията, увереността и удовлетвореността от обучението. Чрез изчисляване на показатели за централност могат да бъдат идентифицирани факторите с най-голямо влияние върху системата. Ако например мотивацията се окаже централен възел, подобряването ѝ би могло да доведе до положителни промени в множество други елементи на мрежата. Друг важен аспект е възможността за откриване на клъстери от взаимосвързани фактори. Така могат да бъдат установени групи когнитивни процеси, които функционират съвместно и оказват съществено влияние върху благополучието на учениците. Една от възможностите на графовите модели е създаването на визуални карти на когнитивните и емоционалните взаимодействия. На фиг. 3. е показан графов модел на взаимодействието между когнитивните процеси и субективното благополучие в обучението по география.

Такива карти позволяват на изследователите да проследяват кои фактори оказват най-силно влияние върху благополучието и кои служат като посредници между отделните компоненти на системата. Това подпомага по-доброто разбиране на механизмите, чрез които се формират учебните нагласи и поведение. Допълнително предимство на мрежовия анализ е възможността за изследване на динамични промени във времето. Чрез последователно събиране на данни могат да бъдат изградени времеви мрежи, които показват как се изменят връзките между когнитивните процеси и благополучието през различни етапи на обучението. Подобен подход предоставя по-пълна картина на развитието на учениците и факторите, които го определят. Използването на графови модели също така улеснява сравняването на различни групи ученици. Например могат да бъдат анализирани

различия между ученици с висока и ниска мотивация или между групи с различни академични постижения. Получените резултати могат да послужат като основа за разработване на целенасочени педагогически интервенции.



Фиг. 3. Графов модел на взаимодействието между когнитивните процеси и субективното благополучие в обучението по география

6 МЕТОДОЛОГИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА МРЕЖОВИЯ МОДЕЛ

Настоящото изследване е разработено с цел да се анализира влиянието на когнитивните процеси върху субективното благополучие на учениците в обучението по география чрез прилагане на мрежов анализ и графови модели. За целите на изследването е използван модел с условна извадка от 100 ученици, като данните са представени чрез количествени показатели по десетстепенна скала. За табличната обработка и анализ на данни е относимо приложението на динамични масиви в MS Excel [9]. Анализирани са основни когнитивни процеси като внимание, памет, пространствено мислене, критично мислене и метакогниция, както и компоненти на субективното благополучие – мотивация, удовлетвореност, самоувереност и емоционален комфорт. Изследването се основава на следните хипотези: първо, когнитивните процеси оказват положително влияние върху субективното благополучие на учениците; второ, пространственото мислене заема централна позиция в мрежата на взаимовръзките поради спецификата на географското

образование; трето, метакогнитивните умения оказват косвено въздействие върху благополучието чрез повишаване на мотивацията и увереността при изпълнение на учебни задачи. Таблица 3 и таблица 4 онагледяват данните, фиг. 4 графът, а фиг. 5 и фиг. 6 резултатите.

Таблица 3. Сила на взаимовръзките между когнитивните процеси и компонентите на субективното благополучие

Когнитивен процес	Мотивация	Ангажираност	Самоувереност	Емоционален комфорт
Внимание	0.78	0.81	0.69	0.65
Памет	0.65	0.70	0.72	0.60
Пространствено мислене	0.88	0.84	0.79	0.74
Критично мислене	0.76	0.82	0.75	0.68
Метакогниция	0.71	0.77	0.86	0.72

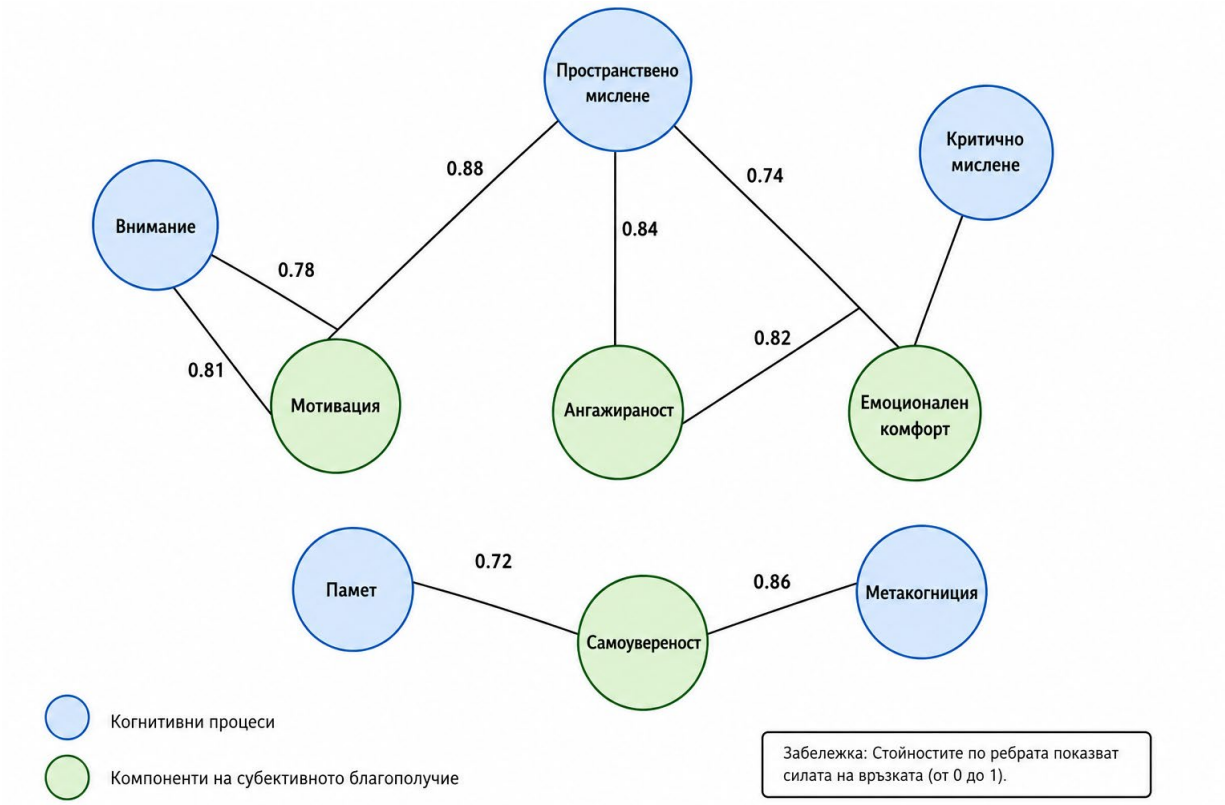
За визуализиране на взаимодействията е изграден графов модел, в който отделните когнитивни процеси са представени като възли, а връзките между тях и компонентите на благополучието – като ребра. Подобен подход позволява да се проследят както преките, така и косвените зависимости между отделните елементи на системата. Чрез анализа на структурата на мрежата могат да бъдат идентифицирани ключовите фактори, които оказват най-силно влияние върху общото благополучие на учениците.

Таблица 4. Показатели за централност на възлите в графовия модел

Възел	Степен на централност
Пространствено мислене	0.88
Ангажираност	0.84
Критично мислене	0.82
Внимание	0.81
Мотивация	0.80
Метакогниция	0.77
Самоувереност	0.76
Памет	0.70
Емоционален комфорт	0.68

Резултатите от мрежовия модел показват, че пространственото мислене и вниманието заемат най-централни позиции в структурата на когнитивните процеси. Те демонстрират най-много връзки с останалите елементи на мрежата и оказват значително влияние върху

учебната мотивация и ангажираността. От своя страна мотивацията се явява посреднически възел между когнитивните процеси и субективното благополучие, което потвърждава нейната важна роля в образователния процес. Получените резултати подкрепят предположението, че развитието на когнитивните умения не води единствено до по-високи академични постижения, но също така съдейства за повишаване на удовлетвореността и психологическия комфорт на учениците. Това потвърждава приложимостта на мрежовия анализ като инструмент за изследване на сложните взаимодействия в образователната среда и за разработване на ефективни педагогически стратегии.

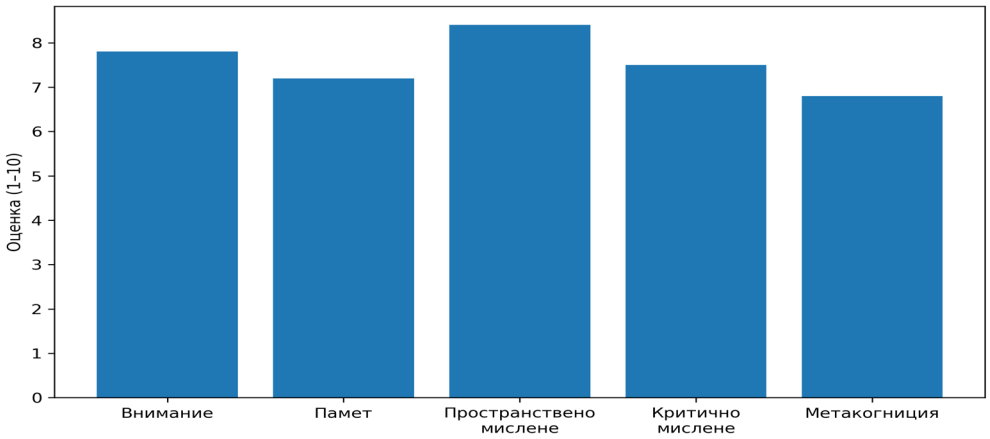


Фиг. 4. Мрежа на взаимовръзките между когнитивните процеси и компонентите на субективното благополучие

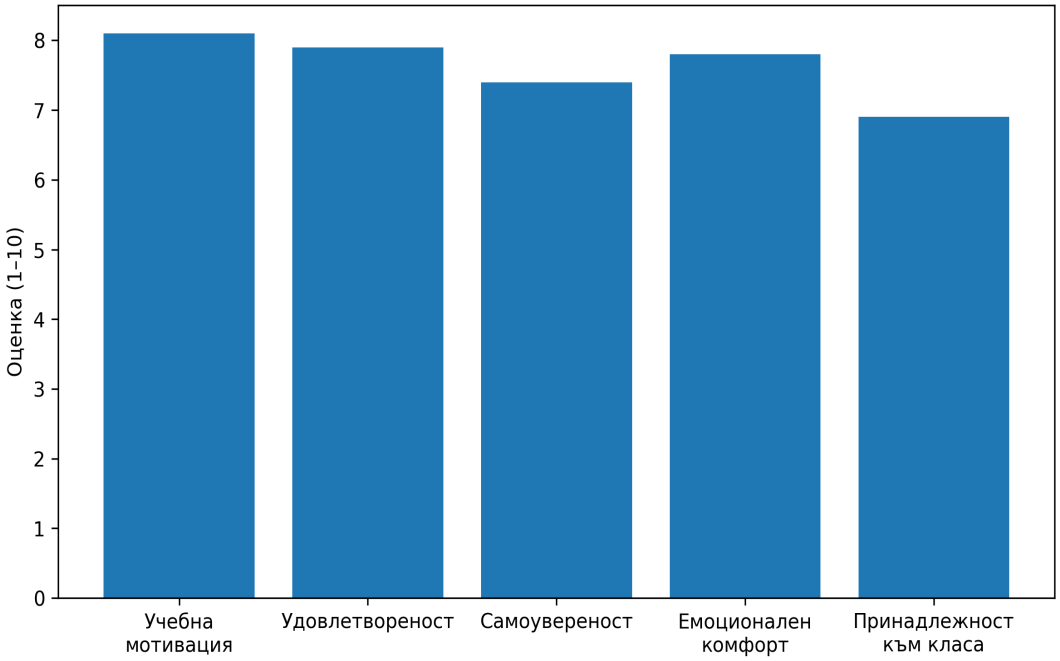
7 ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ

Използването на мрежов анализ в географското образование създава възможности за по-прецизно планиране на учебния процес. Учителите могат да идентифицират ключови фактори, които влияят върху ангажираността и удовлетвореността на учениците, и да адаптират своите педагогически стратегии. Изборът на педагогически подходи е свързан и с особеностите на учебния процес [15]. Съвременните образователни технологии позволяват събиране на големи обеми данни за поведението и учебната активност на учениците. Приложението на технологиите в обучението има и педагогически измерения [16]. Критериите за мониторинг на ефективността на електронното обучение са разгледани в [2], а рамка за оценяване на Web-базирано учебно съдържание е предложена в [4]. Тези данни могат да бъдат използвани за изграждане на динамични мрежови модели, които

проследяват промените във времето и подпомагат вземането на информирани решения. В бъдеще интегрирането на мрежов анализ, изкуствен интелект и образователна аналитика може да доведе до създаването на персонализирани обучителни среди.



Фиг. 5. Средни стойности на когнитивните процеси при ученици в обучението по география



Фиг. 6. Средни стойности на компонентите на субективното благополучие в обучението по география

Приложението на изкуствения интелект в обучението по геодезия е разгледано като отделен образователен пример в [3]. Такива системи ще могат да прогнозират рискове за намалено благополучие и да предлагат навременни интервенции за подобряване на учебния процес. Практическото приложение на мрежовия анализ може да подпомогне разработването на системи за ранно откриване на рискови фактори в учебния процес. Чрез анализ на връзките между когнитивни затруднения, ниска мотивация и негативни

емоционални състояния могат да бъдат идентифицирани ученици, които се нуждаят от допълнителна подкрепа. Това създава предпоставки за навременни педагогически действия. Важна перспектива е интегрирането на резултатите от мрежовите анализи в процеса на образователно планиране. Получената информация може да подпомогне учителите при избора на методи на преподаване, съобразени с особеностите на конкретните ученици и класове. По този начин се създават условия за по-ефективно и персонализирано обучение. Нарастващото използване на големи масиви от образователни данни ще увеличава значението на графовите модели в педагогическите изследвания. Комбинирането на мрежов анализ с технологии за машинно обучение и образователна аналитика открива нови възможности за прогнозиране на учебното развитие и за изграждане на интелигентни системи за подкрепа на учениците. [6]

Количествена оценка на мрежовите зависимости

За да бъдат анализирани по-прецизно взаимовръзките между когнитивните процеси и компонентите на субективното благополучие, е необходимо прилагането на количествени показатели, характерни за мрежовия анализ. Използването на математически модели позволява да се оцени значимостта на отделните възли в мрежата, силата на връзките между тях и степента на влияние върху цялостната структура. Чрез подобен подход могат да бъдат идентифицирани ключовите фактори, които оказват най-съществено въздействие върху благополучието на учениците в процеса на обучение по география. Следващите формули представят основните показатели, използвани за количествена оценка на изследваната мрежа.

Степен на централност

$$\mathrm{C_D(v)} = \frac{\deg(\mathrm{v})}{\mathrm{n-1}} \quad (1)$$

Където:

$C_D(v)$ – степен на централност на възел v;

$\deg(v)$ – брой връзки на възела;

n – общ брой възли в мрежата.

Чрез степента на централност се определя значимостта на даден възел в мрежата. В настоящото изследване най-висока централност показва възелът „Пространствено мислене“, което потвърждава неговата ключова роля за формирането на мотивация и субективно благополучие в обучението по география.

Мотивация (0.88), Ангажираност (0.84), Емоционален комфорт (0.74) - Следователно: $deg(v) = 3$

$$C_D(v) = \frac{3}{9-1} = \frac{3}{8} = 0.375 \quad (2)$$

Получената стойност на степента на централност е 0.375. Това означава, че възелът „Пространствено мислене“ е свързан с 37.5% от останалите възли в мрежата. Резултатът показва, че този когнитивен процес заема важна позиция в структурата на взаимовръзките и оказва съществено влияние върху мотивацията, ангажираността и емоционалния комфорт на учениците. Сред всички анализирани когнитивни процеси пространственото мислене демонстрира най-висока централност, което потвърждава неговата ключова роля в обучението по география и влиянието му върху субективното благополучие на обучаемите.

Средна сила на връзките

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{0.78+0.81+0.88+0.84+0.86+0.82+0.72+0.74}{8} = \frac{6.45}{8} = 0.806 \approx 0.81 \quad (4)$$

Получената средна стойност на връзките е 0.81, което показва силна зависимост между когнитивните процеси и компонентите на субективното благополучие.

Индекс на влияние върху благополучието

$$I_B = \frac{M+A+S+E}{4} \quad (5)$$

където:
M – мотивация;
A – ангажираност;
S – самоувереност;
E – емоционален комфорт.

$$I_B = \frac{0.88+0.84+0.79+0.74}{4} = \frac{3,25}{4} = 0.8125 \approx 0.81 \quad (6)$$

Изчисленият индекс на влияние върху благополучието е 0.81, което показва висока степен на взаимодействие между когнитивните процеси и психологическите аспекти на обучението.

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мрежовият анализ и графовите модели представляват перспективен подход за изследване на сложните взаимоотношения между когнитивните процеси и субективното благополучие в обучението по география. Те позволяват цялостно разглеждане на образователната среда като система от взаимосвързани фактори и осигуряват по-задълбочено разбиране на механизмите, които влияят върху ученето и психологическия комфорт на учениците. Анализът показва, че когнитивните процеси като внимание, памет, пространствено мислене и аналитични умения са тясно свързани с мотивацията, удовлетвореността и емоционалното състояние на обучаемите. Графовите модели предоставят ефективни средства за визуализиране и количествено измерване на тези взаимовръзки. Прилагането на мрежов подход в образователните изследвания може да подпомогне разработването на по-ефективни педагогически практики и интервенции, насочени към подобряване както на учебните резултати, така и на благополучието на учениците. Поради това мрежовият анализ следва да се разглежда като важен инструмент за бъдещото развитие на географското образование и образователната наука като цяло. Получените теоретични постановки показват, че взаимодействието между когнитивните процеси и субективното благополучие не може да бъде обяснено чрез еднопосочни зависимости. Става въпрос за комплексна система от взаимни влияния, в която отделните елементи непрекъснато се променят и адаптират към условията на образователната среда. Именно това прави мрежовия анализ особено ценен инструмент за съвременните

педагогически изследвания. Прилагането на графови модели в обучението по география предоставя възможност за интегриране на количествени и качествени данни в единна аналитична рамка. По този начин могат да бъдат идентифицирани не само ключовите фактори, определящи учебния успех, но и механизмите, чрез които се формират положителните образователни преживявания на учениците. В перспектива развитието на подобни изследвания може да допринесе за създаването на по-хуманна и ефективна образователна среда. Разбирането на връзките между когнитивното функциониране и благополучието ще подпомогне разработването на иновативни педагогически практики, насочени към цялостното развитие на личността и повишаване качеството на обучението по география.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Атанасов В. Т., Трифонов Т. С. Архитектура на интегрирана система с асинхронни потребителски входове в операционна среда, изграждаща мотивиращо и нестресово обкръжение. Научна конференция MATTEX 2024, Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“, 2024.

[2] Начева-Скопалик Л., Иванова Р., Стефанова П., Тодорова-Лазарова В. Критерии за мониторинг на ефективността на електронно обучение. Международна научна конференция УНИТЕХ’13, Габрово, 22–23 ноември 2013.

[3] Стефанова А. Приложение на изкуствения интелект в обучението по геодезия. Трета национална научно-практическа конференция „Дигитална трансформация на образованието – проблеми и решения“, Русе, 24–25 април 2025, с. 415–419, ISSN 3033-0610, ISSN 3033-0629.

[4] Atanasov, V., Ivanova, A. A framework for evaluation of web-based learning content. International Journal on Information Technologies and Security, Vol. 14, No. 4, 2022, pp. 13–24, ISSN 1313-8251.

[5] Barabási A.-L., Network Science, Cambridge University Press, Cambridge, 2016, pp. 1–475.

[6] Borgatti S. P., Everett M. G., Johnson J. C., Analyzing Social Networks, SAGE Publications, London, 2018, pp. 1–384.

[7] Schunk D. H., Learning Theories: An Educational Perspective, Pearson Education, Boston, 2020, pp. 1–520.

[8] Woolfolk A., Educational Psychology, Pearson Education, New York, 2021, pp. 1–720.

[9] Todorova-Lazarova, V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

[10] Tsankov Ts. Cognitive load and behavioral factors in the assessment of motor vehicle drivers. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Vol. XV E, Faculty of Technical Sciences, 2025, ISSN 1314-8818, pp. 411–417. https://doi.org/10.46687/YT25CEC

[11] Mayer R. E., Multimedia Learning, Cambridge University Press, Cambridge, 2021, pp. 1–320.

[12] OECD, PISA 2022 Results: Learning During and After the Pandemic, OECD Publishing, Paris, 2023, Volume I, pp. 1–450.

[13] Бурова И. Стилове на учене и стилове на педагогическо общуване. Е-списание „Образование и развитие“, бр. 15, 2025, с. 51–56. ISSN 2603-3577.

[14] Бурова И. Взаимодействието между педагога и учениците. Е-списание „Образование и развитие“, бр. 17, 2026, с. 84–91. ISSN 2603-3577.

[15] Бурова И. Съвременни подходи в обучението и конкретиката им по технологии и предприемачество. 2023, с. 42–46.

[16] Бурова И. Същност на технологиите и приложението им в обучението. Е-списание „Образование и развитие“, бр. 17, 2026, с. 78–83. ISSN 2603-3577.

REGULATORY GAPS AND THE NEED FOR CARTOGRAPHIC STANDARDIZATION IN NON-TRADITIONAL GEODETIC ACTIVITIES*

IVAN D. IVANOV

ABSTRACT: *In the conditions of an ever-complicating and dynamically developing economic, legal and administrative environment, the role of geodesy as an applied science and professional practice is undergoing a structural transformation. The traditional public and institutional perception of the geodetic profession, which for decades was limited mainly to classical land management, processes of restoration of ownership of agricultural lands, investment design in construction, regulations of settlements and general spatial planning of the territory, is no longer able to encompass and respond to the full spectrum of real public needs. The growth of the potential of geodetic services in recent years is a direct consequence of the fundamental need for precise, unambiguous and legally valid spatial definition of objects, subjects, easements, restrictive zones and specific hypotheses in various spheres of economic and social life.*

The article presents a detailed overview of some specific activities, which will serve to build a methodological framework aimed at introducing a unified administrative practice and standardized cartographic templates.

KEYWORDS: *geodesy, non-traditional geodetic activities, cartographic templates, cartographic semiotics, administrative practice*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26IDI

НОРМАТИВНИ ДЕФИЦИТИ И НЕОБХОДИМОСТ ОТ КАРТОГРАФСКА СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРИ НЕТРАДИЦИОННИТЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ДЕЙНОСТИ

ИВАН Д. ИВАНОВ

АБСТРАКТ: *В условията на непрекъснато усложняваща се и динамично развиваща се икономическа, правна и административна среда ролята на геодезията като приложна наука и професионална практика търпи структурна трансформация. Традиционното обществено и институционално възприятие за геодезическата професия, което в продължение на десетилетия беше ограничено предимно до класическото земеустройство, процесите по възстановяване на собствеността върху земеделските земи, инвестиционното проектиране в строителството, регулациите на населените места и общото устройствено планиране на територията, вече не е в състояние да обхване и отговори на пълния спектър от реални обществени потребности. Разрастването на потенциала на геодезическите услуги през последните години е пряко следствие от фундаменталната необходимост за прецизно, еднозначно и правно валидно пространствено дефиниране на обекти, субекти, сервитути, ограничителни зони и специфични хипотези в разнообразни сфери на стопанския и социалния живот.*

Докладът представя детайлен преглед на някои специфични дейности, който да послужи за изграждане на методологична рамка, насочена към въвеждането на единна административна практика и стандартизирани картографски образци.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

1 Въведение

В съвременната практика се наблюдава все по-честото и настоятелно търсене от страна на различни физически и юридически лица, както и от широк кръг държавни и общински администрации за извършване на специфични експертни дейности, които излизат извън обхвата на Закона за устройство на територията (ЗУТ) [7] и класическите, строго регламентирани процедури по Закона за кадастъра и имотния регистър (ЗКИР) [6]. Тази експанзия на геодезическите приложения в нови, нетрадиционни нормативни сфери обаче разкрива сериозен системен дефицит в държавното управление и професионалната практика: пълната липса на унифицирани, нормативно утвърдени образци за картографско оформление при оформяне на крайния продукт от тези дейности.

В преобладаващата част от случаите, когато даден специализиран закон или подзаконов нормативен акт изисква становище, пространствено измерване, експертиза или официално удостоверение от „геодезист“ или „правоспособно лице по кадастър“, законодателят се ограничава единствено до формулирането на материалноправната цел на измерването и/или анализа, без да предоставя каквито и да е конкретни указания за графичния, текстовия, математическия и картографския вид на документа, който ще служи като доказателствено средство. Този нормативен пропуск води до генериране на разнородна и разноточна продукция за един и същи вид геодезически дейности в рамките на територията на страната. Създаденият хаос генерира сериозни предпоставки за административен произвол при разглеждането на преписките, съществено затруднява контролните и лицензионните органи при вземането на обосновани решения, понякога води до съдебни спорове в административните съдилища и в крайна сметка компрометира авторитета на самото геодезическо съсловие като носител на обективно и точно техническо знание.

Анализът на съвременната българска нормативна база показва, че редица закони с подчертано регулаторен характер – като Закона за хазарта, Закона за водите, нормативните актове в сферата на минното дело, добива на подземни богатства и концесиите, законодателството в областта на екологията и др. – директно препращат към геодезическата експертиза. Въпреки това тези нормативни актове третират геодезическия продукт (най-често наричан най-общо „скица“, „план“ или „удостоверение“) като **абстрактно доказателствено средство, без да дефинират неговите задължителни картографски атрибути** – използвани координатни системи, проекции, мащаби, унифицирани условни знаци (семиотика), точност на графическото изобразяване на специфичните елементи и задължителни метаданни за начина на извършване на геодезическите измервания.

2 Актуалност на проблема

Проучване на наличната специализирана литература, академични доклади, монографии и научни разработки разкрива много специфичен и донякъде парадоксален феномен в българското геодезическо научно пространство. Прегледът на тематичното съдържание и публикуваните материали показва силно изразен, почти изключителен фокус върху върху класическите и академични геодезически проблеми. Научните статии традиционно разглеждат теми като развитието и изравнението на държавните геодезически мрежи, иновациите във въздушната и наземната фотограметрия, приложението на лидарните технологии, развитието на Географските информационни системи (ГИС), масовите кадастрални практики по създаване на кадастрални карти и регистри, както и сложната инженерна геодезия при проектирането и строителството на големи национални инфраструктурни проекти.

На фона на това значително богатство от класическа техническа информация, съществува осезаем дефицит на специализирани публикации, които **да разглеждат интердисциплинарния сблъсък между геодезията и нетрадиционните клонове на административното право**. Проблематиката, свързана с належащата необходимост от картографско прецизиране на удостоверителни документи по специализирани закони – като споменатите Закон за хазарта (ЗХ) [8], Закон за водите (ЗВ) [5], екологичното законодателство и др. – остава почти напълно неразработена в научния дискурс. Този съществен пропуск в специализираната литература е силно показателен за начина, по който академичната и научноизследователската общност възприема тези задачи. Съществува тенденция тези специфични измервания да се пренебрегват като рутинна, елементарна техническа дейност на терен, която не изисква дълбоко научно осмисляне, теоретизиране или разработване на специализирани методологии.

В действителност обаче липсата на солидна теоретична обосновка за принципите на картографската семиотика (науката за създаване, използване и възприемане на знаковите системи върху картите) при тези специфични и правно обвързващи измервания води до хаос в ежедневната практика. Картографията не е и никога не е била просто механично изчертаване на линии между точки с известни координати; тя е сложен процес на визуална комуникация, при който суровите пространствени данни се транслират, генерализират и интерпретират, за да се превърнат в правно валидни и недвусмислени доказателства в едно административно или съдебно производство. Когато липсват научни разработки, методически указания или утвърдени академични стандарти за тази комуникация, практикуващите специалисти на терен са оставени напълно сами да интерпретират неясните законови изисквания. Това неизбежно води до вече споменатата разнородна продукция, при която един геодезист представя резултатите си под формата на сложен инженерен чертеж, а друг – под формата на нерегламентирана извадка от безплатна интернет платформа с ръчно нанесени графични елементи. Появата на специализирани научни статии и методически разработки по тази актуална тема в различни платформи и научни издания **би била критично важна и необходима първа стъпка към осветляване на проблема, иницииране на широк професионален дебат и последваща нормативна стандартизация на процесите**.

3 Дефиниране на субектите и техните правомощия

Преди да се пристъпи към детайлен анализ на конкретните специализирани дейности в различните сектори на икономиката, е наложително да се изясни и прецизира нормативната рамка, която дефинира самите субекти, имащи законовото право да извършват тези измервания и да издават съответните удостоверителни документи. Различните закони в Република България използват широк и често противоречив спектър от понятия, като „геодезист“, „правоспособно лице“, „правоспособно лице по кадастър“, „лице с проектантска правоспособност“ или други сходни определения, което създава значителна юридическа неяснота и затруднява както администрацията, така и самите възложители на услугите [9].

В настоящия доклад се разглежда ЗКИР като пример, който въвежда много ясна, категорична и изчерпателна дефиниция на понятието „правоспособно лице по кадастър“. Съгласно разпоредбите на закона, правоспособно лице по кадастър е търговец (по смисъла на Търговския закон или по еквивалентното законодателство на друга държава – членка на Европейския съюз), който има изрично вписан предмет на дейност извършване на дейности по кадастъра и който разполага с необходимия квалифициран специализиран състав.

Проблем може да възникне, когато други, неспециализирани нормативни актове въвеждат задължителни изисквания за извършване на пространствени геодезически дейности, без да препращат изрично и недвусмислено към регистъра по ЗКИР, или когато препращат към него, но за извършване на дейности, които по своята същност не са функционално свързани със създаването или поддържането на кадастралната карта, респ. кадастрални данни. В много случаи различни подзаконови актове изискват документът да носи печат или подпис от „геодезист“. Това понятие се отнася единствено към придобита образователно-квалификационна степен (бакалавър или магистър инженер-геодезист) от висше учебно заведение, но категорично не означава вписване в регистъра на правоспособните лица към АГКК, нито пък гарантира членство в Камарата на инженерите в инвестиционното проектиране (КИИП) с придобита пълна или ограничена проектантска правоспособност.

Този терминологичен дисонанс означава на практика, че един и същ картографски продукт, предназначен да послужи пред държавна институция за една и съща цел, може да бъде валидиран с различни видове печати [9]. В единия случай това може да бъде печат на фирма – правоспособно лице по ЗКИР; в друг случай може да е личен печат на инженер с пълна проектантска правоспособност (ППП) от КИИП; а в трети случай може да е просто обикновен подпис на лице с инженерна диплома без допълнителни регистрации. Това води до съществено объркване сред административните органи, приемащи документацията, които често не разполагат с експертизата да преценят дали лицето, изготвило документа, има законовото право да го направи съгласно духа на конкретния специализиран закон. Тази хетерогенност в квалификацията на изпълнителите е една от първопричините за последващата хетерогенност в качеството и картографското оформление на крайните продукти.

4 Специфични геодезически дейности

Систематизирането на нетрадиционните геодезически задачи изисква детайлен преглед на онези конкретни закони, които, макар и извън сферата на кадастъра и устройството на територията, възлагат сериозни отговорности на геодезическата професия. Тези закони обикновено имат за цел опазването на висш обществен интерес, защитата на здравето и морала на подрастващите, опазването на околната среда или гарантирането на националната сигурност, като използват пространственото позициониране и дистанциите като основен инструмент за регулация и контрол.

В изложението се прави разграничение между горецитираните дейности и тези, които се отнасят до изработването на специализирани карти. Изследвания относно състоянието и създаването им са извършени в научни разработки като [10, 11, 12, 14, 15, 16], където са предложени различни методи и концепции. Настоящият доклад разглежда дейности, които не са пряко свързани с изработването на специализирани карти, **но могат да послужат при създаването и поддържането им**. Пример за това са дейностите по чл. 118г, ал. 5, т. 3, буква „в“ от ЗВ, чиито резултати впоследствие могат да се интегрират в специализираните карти, регистри и информационни системи за водите и за водностопанските системи и съоръжения по същия закон.

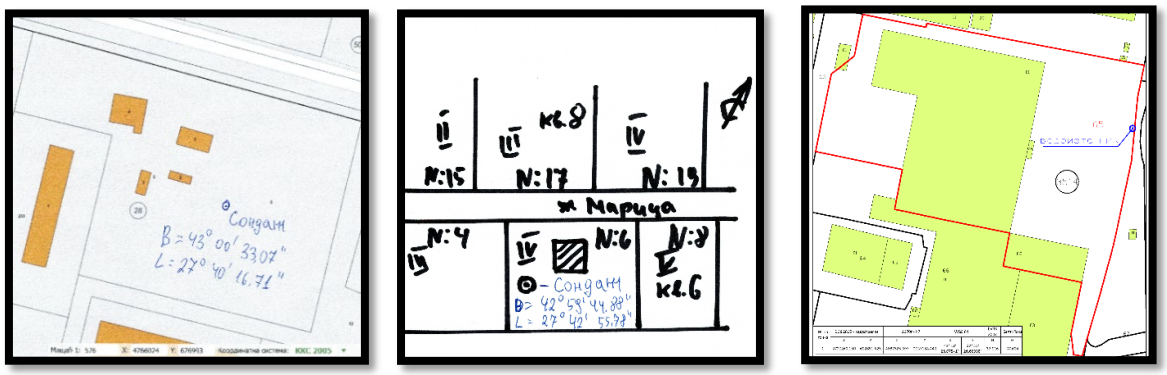
Гореописаният случай представлява специализирана геодезическа експертиза извън рамките на ЗУТ и е свързан с прилагането на ЗВ и неговите подзаконови нормативни актове. Водите са национално богатство и тяхното управление, опазване и експлоатация са обект на най-строга държавна регулация. Съгласно категоричните разпоредби на чл. 118г от ЗВ, всички собственици на водовземни съоръжения за подземни води (които включват различни видове тръбни кладенци, дълбоки сондажи, шахтови кладенци и каптажи) са

задължени по закон да ги регистрират в съответната Басейнова дирекция по управление на водите.

Тази регистрационна процедура, която имаше ясно дефинирани срокове (напр. в срок до две години от влизането в сила на определени изменения, до 27.11.2020 г.), изисква подаване на заявление по утвърден образец, към което се прилага значителен набор от технически и правни документи. Важно е да се отбележи, че особено в хипотезите на чл. 118г, ал. 5, т. 3 от ЗВ, законодателят въвежда изисквания за предоставяне на специфична пространствена информация, свързана с точните параметри на съоръжението, неговото ситуиране спрямо границите на поземления имот, както и спрямо потенциални източници на замърсяване в околната среда.

За изпълнението на изискванията по чл. 118г, ал. 5, т. 3, се налага изготвянето на специфични ситуационни геодезически скици. Тези скици трябва да показват не само абсолютните координати на устието на сондажа, но и неговото точно местоположение спрямо регулационните и кадастрални граници на имота, отстоянията до съседни сгради, до септични ями или други потенциални замърсители, както и да очертават сложните полигони на санитарно-охранителните зони (СОЗ) около водовземното съоръжение.

Практиката показва, че с цел избягване на финансовата тежест за специализирани услуги, се предоставят разпечатки или извадки от безплатни уеб базирани карти (което е напълно недопустимо от геодезическа и правна гледна точка поради значителните пространствени грешки). Други прилагат неофициални, неточни ръчни скици, а трети наемат професионални геодезисти, които обаче изготвят специфични скици според собствените си разбирания за мащаб и детайлност (фиг. 1). Тази хетерогенност на входните данни затруднява експертите в Басейновите дирекции при валидирането и въвеждането на данните в националните регистри и създава реален риск от сериозни пространствени грешки при управлението на водните ресурси – например, одобряване на сондаж, който на хартия изглежда далеч от източник на замърсяване, но в действителност (поради лошо картографско изобразяване) се намира в рискова зона.



а) Разпечатки от безплатни уеб базирани карти

б) Ръчна скица

в) Специфична скица от правоспособно лице

Фиг. 1. Картографско оформление на пространствено описание на водовземно съоръжение

Друг пример за нетрадиционна геодезическа дейност, която изисква прецизност и същевременно поражда множество тежки административни и съдебни спорове, е свързан с прилагането на ЗХ. Законодателят е предвидил много строги материалноправни

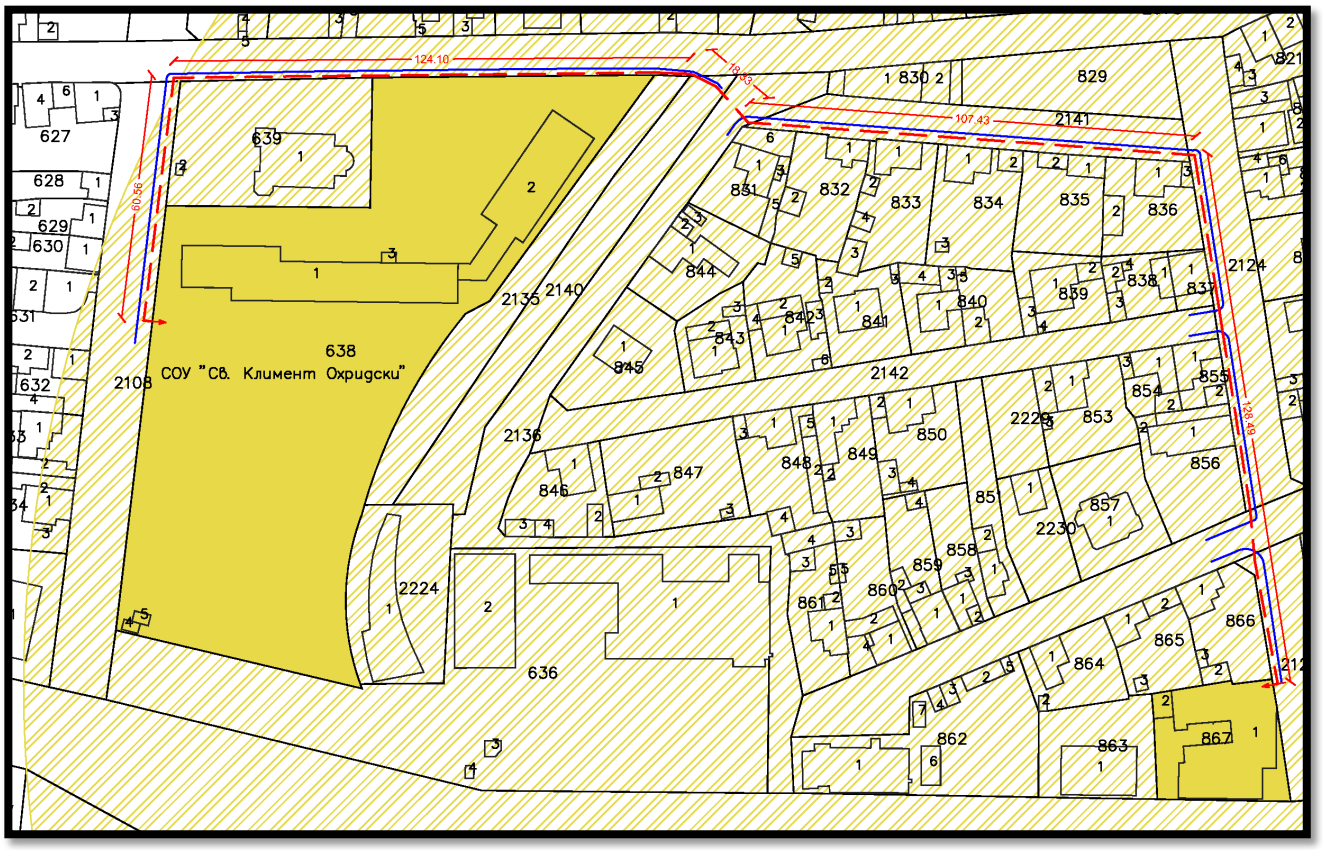
предпоставки за издаване на лиценз за организиране на хазартни игри, чиято цел е превенцията на хазартната зависимост сред уязвимите групи.

Съгласно разпоредбите на чл. 44, ал. 1 от ЗХ, е въведено стриктно ограничение, че игралните зали и игралните казина не могат да отстоят на по-малко от 300 метра от училища (по смисъла на Закона за предучилищното и училищното образование), както и от специализирани домове за деца, лишени от родителски грижи. Законодателят е предвидил изключение от това строго правило единствено за хазартни обекти, които се намират в хотели, категоризирани с високата категория от четири или пет звезди. Дължимото разстояние от минимум 300 метра между игралната зала и учебното заведение не е просто препоръка, а е фундаментална материалноправна предпоставка, която директно обуславя пораждането на правото на субекта да получи лиценз за организиране на хазартни игри от държавния регулатор.

Този привидно недвусмислен законов текст генерира сложна и многопластова геодезическа задача на терен. Съгласно разпоредбата на чл. 44, ал. 3 от същия закон, въпросното отстояние се измерва задължително от правоспособни лица, които могат да извършват дейности по кадастър, геодезия и картография. За извършените измервания тези правоспособни лица трябва да издадат необходимото официално удостоверение, което задължително се придружава от приложена скица от кадастралната карта, върху която трябва да са нанесени съответните очертания и траектории.

Тази дейност произтича от самата методология на измерване, която не следва простата математическа логика на евклидовата геометрия, а е специфично регламентирана в Наредба за правилата, начините, техническите способи и изискванията за измерване на отстояние по чл. 44 от Закона за хазарта [13]. Според чл. 2 от Наредбата, отстоянието не се мери по права линия (въздушно, както е приложено в много други сфери), а се измерва по траекторията на най-прекия пешеходен път от главния вход на игралната зала до най-близкия вход на сградата на училището. Нещо повече, наредбата детайлизира, че най-прекият пешеходен път трябва да се измерва строго по оста на разрешените за движение на пешеходци места – тротоари, банкети, изградени пешеходни алеи и площади, като при това измерване задължително трябва да се съобразяват официално регламентираните места за пресичане на платната за автомобилно движение (пешеходни пътеки тип зебра, подлези, надлези или светофарно регулирани кръстовища).

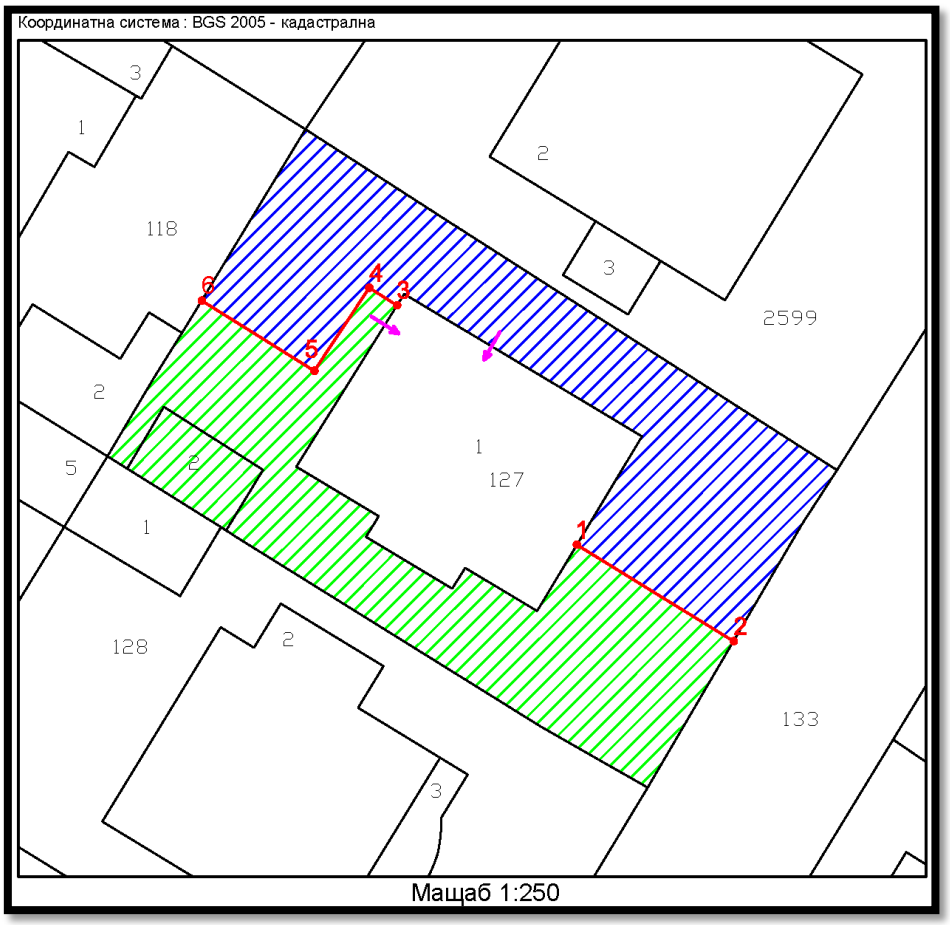
Пълната липса на стандартизиран, държавно утвърден образец води до това, че различните геодезически екипи използват напълно различни картографски похвати и условни знаци за изобразяване на траекторията (фиг. 2). Един експерт може да използва плътна червена линия с дебелина 0.5 mm, друг може да използва прекъсната синя линия, трети може да оцвети целия тротоар като полигон. Начините за обозначаване на самите входове (които са критичните начална и крайна точка на измерването) също варират от обикновени точки до сложни векторни стрелки или специализирани символи. Самото текстово оформление на удостоверението също е оставено на литературните умения на геодезиста. В богатата съдебна практика на административните съдилища често се разглеждат сложни казуси, при които лицензиращият орган отказва издаването на лиценз въз основа на неясни, двусмислени или лошо оформени скици. В отговор жалбоподателите представят контра-експертизи от други инженери, които чрез нови измервания и нови скици се опитват да докажат спазването на 300-метровото отстояние. В тези случаи съдът е принуден да разчита изцяло на графичното и текстовото съдържание на представените противоречиви геодезически доказателства, което прави липсата на единен национален стандарт значителен юридически риск за всички страни в процеса.



Фиг. 1. Примерно картографско оформление при измерване на разстояние по чл. 44 от ЗХ. Върху кадастралната карта (с черно) са нанесени заснетите бордюри и тротоари (със синьо), на база на които е определена оста на движение по тротоара (с червена прекъсната линия), а с жълта раирана щриховка е указан обхвата от 300 метра.

Изготвянето на специализирани геодезически материали за нуждите на нотариалните производства е ключово пресечно поле между техническите науки и вещното право. Тези материали служат като обективно доказателствено средство, което гарантира правната сигурност при сделки и производства, изискващи точна пространствена идентификация на обектите.

Като пример може да се посочи разпределението на ползването на съсобствен имот (чл. 32 от ЗС), което не прекратява съсобствеността и не променя кадастралните граници на имота, но създава вътрешно пространствено зониране за това кой съсобственик коя реална част от имота ще ползва. Изработва се специализирана скица, която се базира върху актуалните данни от кадастралната карта и кадастралните регистри (КККР), но ги надгражда с допълнителна информация. На нея се изобразяват вътрешните разделителни линии (често съответстват изцяло или частично на съществуващи огради) на ползване, които обикновено отговарят на квотите (идеалните части) на съсобствениците. Тази скица става неразделна част от договора за разпределение на ползването (който може да бъде с нотариална заверка на подписите за по-голяма доказателствена тежест или да бъде вписан при определени условия). Тя е графичният израз на волята на страните. Макар да е налице значително производство на такъв вид геодезическа продукция, към момента липсват одобрени образци за текстова и графична част (фиг. 3).



Фиг. 3. Примерно картографско оформление при разпределение на ползването съгласно ЗС. Указани са границите (с червена линия) и обособените дялове (с щриховка).

5 Последици от разнородната картографска продукция

Липсата на утвърдени, ясни и нормативно задължителни образци за картографско оформление при формиране на крайния продукт за нетрадиционни дейности по примера на гореизброените не се ограничава единствено до естетически, академичен или теоретичен проблем. Напротив, тази празнина генерира съществени негативни правни, административни и икономически последици, които засягат всички участници в процеса – възложители (инвеститори), изпълнители (геодезисти) и държавни регулаторни органи.

Когато даден държавен експерт или общински служител получи геодезически документ (например процесното удостоверение по чл. 44 от Закона за хазарта), той трябва да вземе важно административно решение със значителен материален и обществен интерес (издаване или отказ на лиценз за хазартна дейност) изцяло въз основа на предоставените му графични доказателства. Тъй като не съществува никакъв държавен стандарт за това как точно трябва да изглежда тази скица, служителят е принуден да тълкува графичната информация изцяло субективно. В една община или териториална дирекция дадена скица може да бъде приета като абсолютно достатъчно и недвусмислено доказателство, докато в друга дирекция съвършено същата скица може да бъде отхвърлена поради липса на някакъв субективно очакван елемент (например липса на мащабна линия, липса на координатна мрежа, или защото служителят не одобрява специфицирания от геодезиста условен знак за

пешеходна пътека). Тази дълбока субективност **противоречи на основните принципи на административното право за предвидимост, правна сигурност и равнопоставеност на субектите в административното производство.**

Погледнато от строго научна и академична гледна точка, картографията разчита изцяло на семиотиката – това е сложна система от визуални знаци, които трябва да имат универсално и недвусмислено значение за всеки човек, четящ картата. Когато един геодезист използва червена непрекъсната линия за обозначаване на траекторията на пешеходен път, а друг геодезист използва същия графичен знак за обозначаване на подземен силов електропровод, комуникационната функция на картата е напълно разрушена. Подобно на процесите на унификация и типизация в архитектурното проектиране, където стандартизирането на елементите елиминира необоснованите различия в отделните проекти, в картографското оформяне на нетрадиционните геодезически дейности също е критично важно въвеждането на единни стандарти [3]. Липсата на единен, нормативно утвърден национален каталог на условните знаци за нуждите на специализираните административни измервания води до масова функционална неграмотност на графичния продукт. Без стандартизиран „ключ“ (легенда), който да е нормативно обвързан с текста на закона, скицата престава да бъде обективно, научно обосновано доказателство и придобива характер на неформална графична илюстрация.

Един пълноценен, професионално изготвен съвременен картографски продукт трябва задължително да съдържа богат набор от метаданни: изчерпателна информация за използваната геодезическа апаратура (марка, модел, точност), метода на измерване (напр. кинематика в реално време - RTK, статични измервания, тахиметрия), използваната координатна система (задължително БГС 2005 за територията на страната), използваната височинна система, точната дата и час на измерването (които са критични при променяща се градска среда), както и пълни данни за лицето, извършило измерването. В момента, поради пълната липса на задължителни образци за удостоверения и скици извън тесните рамки на ЗУТ/ЗКИР, много практикуващи геодезисти често пропускат да впишат тези критични метаданни в документите си. При възникване на правен спор след няколко години, става напълно невъзможно да се възпроизведе методът, по който е получено дадено отстояние или е определена дадена координата, което **прави документа напълно непроверим и следователно – лишен от доказателствена стойност**.

6 Заключение

Съвременната геодезическа наука и практика отдавна и безвъзвратно са надхвърлили тесните рамки на традиционното земеустройство и класическото инвестиционно проектиране. Днес геодезията се е превърнала във фундаментален, незаменим инструмент за осигуряване на пространствена и правна сигурност в редица критични сфери на обществения и стопански живот.

Установеният дефицит на стандартизирани, нормативно закрепени образци за картографско оформление на тези специализирани услуги представлява не просто неудобство, а сериозна системна слабост на държавния апарат. Тази слабост ежедневно води до генериране на високи обеми разнородна и трудно съпоставима техническа продукция, създава сериозни предпоставки за административен хаос и корупционен натиск, улеснява продължителните съдебни производства и създава предпоставки за размиване на професионалната отговорност на правоспособните лица. Решаването на този дълбок проблем не следва да бъде делегирано единствено на индивидуалната преценка, естетическите виждания или софтуерните умения на всеки отделен експерт на терен, нито

на конюнктурните и променящи се изисквания на различните общински и държавни администрации в страната.

Първата, най-важна и най-неотложна стъпка е създаването на изчерпателен, систематизиран сборник (каталог), който да дефинира графичния, структурния и текстовия вид на изискуемите геодезически документи по различните специализирани закони. Този каталог не е необходимо първоначално да има силата на закон; той може да бъде разработен и издаден като методическо ръководство за добри практики, утвърдено от управителните съвети на браншовите организации, и впоследствие, чрез целенасочено застъпничество, да бъде припознат от държавната администрация чрез препратки в съответните наредби. Практически насоки и съвети по настоящия проблем могат да се открият в различни научни разработки като [1, 2].

Примерният образец за нестандартизирани геодезически дейности трябва задължително да бъде структуриран на логически слоеве и да съдържа следните строго дефинирани компоненти, представени в следващата аналитична таблица. Подобно на процеса на изграждане на унифицирани архитектурно-конструктивни системи, който изисква предварително зададена строга методологична постановка за структурата на отделните модули, така и примерният образец за нестандартизирани геодезически дейности трябва задължително да бъде структуриран на логически слоеве [4].

Таблица 1

Компонент на картографския образец	Детайлно описание и технически изисквания към съдържанието
Антетка (Картуш) и Идентификация	Унифициран блок, позициониран стандартно, съдържащ наименование на юридическото лице, регистрационен номер по ЗКИР и/или КИИП, точно наименование на обекта, данни за възложителя, нормативно основание (напр. "по чл. 44 от ЗХ"), дата на изчертаване и оригинални подписи и печати.
Декларативна част (Метаданни на заснемането)	Изрично и детайлно посочване на използваната държавна координатна система (БГС 2005), геодезическа основа (изходни точки, перманентни ГНСС мрежи), метод на измерване (GNSS RTK, тахиметрия), параметри на точност (PDOP, HDOP) и дата на полевите измервания.
Графична част (Мащаб, основа и ориентация)	Изискване за използване на актуална официална кадастрална карта като подложка. Изчертаване в строго определен, закръглен стандартен мащаб (напр. 1:500 или 1:1000). Задължително наличие както на графичен, така и на числен мащаб (за предпазване от грешки при ксерокопиране), а при необходимост и ясен указател за посоката Север.
Специфична легенда (Специализирани условни знаци)	Ясно дефинирани, уникални знаци, създадени специално за конкретния закон. Например: полилиния с определен цвят и дебелина за "най-пряк пешеходен път по чл. 44 от ЗХ", специфичен геометричен символ за "главен вход на игрална зала", "вход на училище", и щрихован полигон за буферна/санитарна зона.
Удостоверителна (текстово-правна) част	Стандартизиран, юридически издържан текст на удостоверението, в който недвусмислено се заявява доказаната хипотеза (напр. "Измереното отстояние по пешеходен път от обект X до обект Y възлиза на точно Z.ZZ метра и категорично отговаря/не отговаря на изискванията на чл. 44 от ЗХ").

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Василев, С. Използване на подсъзнателни сигнали при създаване на карти. Списание „Геодезия, картография и земеустройство“, 2023, бр. 5-6, с. 23–31. ISSN 2535-0927.

[2] Василев, С. Методи за увеличаване графичната тежест на картографските знаци. Списание „Геодезия, картография и земеустройство“, 2020, бр. 1-2, с. 39–43. ISSN 2535-0927.

[3] Ениманев, И. Модели за преустройство и саниране на агроиндустриални сгради - X Юбилейна международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения” (20 - 22 септември 2018 г. Варна, ВСУ) доклад, стр. 565-569; ISSN: 2603-4255, ISSN 2683-071X (online).

[4] Ениманев, И., Ениманев, К. Унифициране на архитектурно - конструктивни елементи на модулни агро сгради - X Юбилейна международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения” (20-22 септември 2018 г. Варна, ВСУ), доклад, стр.570-574; ISSN: 2603-4255, ISSN 2683-07IX (online).

[5] Закон за водите – обн. ДВ. бр.67 от 27 юли 1999 г.

[6] Закон за кадастъра и имотния регистър – обн. ДВ. бр.34 от 25 април 2000 г.

[7] Закон за устройство на територията – обн. ДВ. бр.1 от 2 януари 2001 г.

[8] Закон за хазарта – обн. ДВ. бр.26 от 30 март 2012 г.

[9] Иванов, И. Геодезията – двойно регулирана професия с тройно членство. „E-Journal“ VFU, 2025, бр. 23, с. 416–428. ISSN 1313-7751. DOI 10.53606/evfu.23.416–428.

[10] Иванов, С., Видев, Кр., Кастрева, П. Картографски знаци за карти на културно-историческото наследство. „Известия на Българското географско дружество“, 2019, Том 40, с. 54–58. DOI: 10.3897/jbgs.2019.40.9.

[11] Иванов, С., Кастрева, П., Дреновски, И., Г. и Безинска, Г.. Създаване на специализирана карта на културното наследство – приоритетни цели и задачи. Списание „Геодезия, картография и земеустройство“, 2015, бр. 5–6, с. 49–50. ISSN 2535-0927.

[12] Микренска-Чернева К., 2014. Анализ на възможностите за създаване на специализирани карти и регистри, Списание „Геодезия, картография и земеустройство“ – 2014, Бр. 3–4, с. 26–31. ISSN 0324-1610.

[13] Наредба за правилата, начините, техническите способи и изискванията за измерване на отстояние по чл. 44 от Закона за хазарта – обн. ДВ. бр.77 от 9 октомври 2012 г.

[14] Стойков, Е. Морски карти – история и бъдеще. Научна конференция с международно участие MATTEX 2020: Сборник с научни трудове. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2020, Том 2, с. 271–275. ISSN 1314-3921.

[15] Niyazi-Yusuf, M. E. (2025). Specialized Maps and Registers – General Approaches to Their Creation. Journal Scientific and Applied Research, 2025, Vol. 29, No. 1, pp. 55–64. Available from: https://jsar.ftn.shu.bg/index.php/jsar/article/view/453. DOI: 10.46687/jsar.v29i1.453.

[16] Niyazi-Yusuf, M. E. (2025). Structure and content of specialized maps and registers. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 28, 23–35. Retrieved from https://jsar.ftn.shu.bg/index.php/jsar/article/view/421.

GEODETIC SUPPORT AND VERTICAL PLANNING FOR THE REDEVELOPMENT OF AN URBAN RESIDENTIAL ENVIRONMENT*

ILIYANA N. TEOHAROVA, KIRIL F. YANCHEV

ABSTRACT: *The paper presents an engineering-geodetic approach to the redevelopment of streets and inter-block spaces in part of the 24th microdistrict of Primorski district, Varna. The study combines cadastral and urban-planning data, an RTK GNSS and total-station survey, a digital terrain model, vertical planning and a staking design. The investigated street network is approximately 1,350 m long and is characterised by deteriorated pavements, insufficient organised parking, discontinuous pedestrian routes and problematic surface drainage. The proposed technical design preserves the principal street levels and introduces local corrections to kerbs, sidewalks, parking areas and public spaces. Longitudinal design slopes are mainly 0.5-2.5%, while local ramps reach 10%; road cross slopes are generally 1.5-2.0%. Parking groups with capacities from 4 to 43 spaces and accessible spaces are included. The result is a traceable workflow linking field measurements, spatial modelling, design levels, drainage directions and staking coordinates. The limitations of the available data and the need for execution-stage control are explicitly discussed.*

KEYWORDS: *engineering geodesy, vertical planning, digital terrain model, urban redevelopment, accessible environment, parking organisation, staking design*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26INT

ГЕОДЕЗИЧЕСКО ОСИГУРЯВАНЕ И ВЕРТИКАЛНО ПЛАНИРАНЕ ПРИ ПРЕОФОРМЯНЕ НА МЕЖДУБЛОКОВА ГРАДСКА СРЕДА

ИЛИЯНА Н. ТЕОХАРОВА, КИРИЛ Ф. ЯНЧЕВ

АБСТРАКТ: *Докладът представя инженерно-геодезически подход за преоформяне на уличната мрежа и междублоковите пространства в част от 24-ти микрорайон на район „Приморски“, гр. Варна. Изследването обединява кадастрални и устройствени данни, RTK GNSS и тахиметрично заснемане, цифров модел на терена, вертикално планиране и трасировъчно решение. Анализирана е улична мрежа с обща дължина около 1350 m, при която са установени амортизирани настилки, недостатъчно организирано паркиране, прекъснати пешеходни връзки и проблеми при повърхностното отводняване. Техническият проект запазва основните съществуващи нивелети и въвежда локални корекции на бордюри, тротоари, паркинги и обществени пространства. Основните надлъжни наклони са 0,5-2,5%, локалните рампи достигат 10%, а напречните наклони на уличните платна са преимуществено 1,5-2,0%. Проектът включва групи от 4 до 43 паркоместа и специализирани места за хора с увреждания. Резултатът е проследима връзка между измерване, пространствен модел, проектни коти, отводняване и трасиране.*

1 Въведение

Преоформянето на съществуваща градска среда е по-сложно от проектирането върху свободен терен. В жилищните квартали всяко ново решение трябва да съчетае вече изградени улици, входове, гаражи, инженерни мрежи, дървесна растителност, кадастрални граници и ежедневни маршрути на различни групи ползватели. Неточното височинно или ситуационно обвързване може да създаде локални задържания на вода, неудобни рампи,

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

недостъпни тротоари или конфликт между паркиране и пешеходно движение. Поради това геодезическата основа не е само графична подложка, а измерима система за вземане и проверка на проектни решения.

Качеството на пространствените и атрибутните данни определя надеждността на последващото моделиране и проектиране [7, 20]. В крайбрежните урбанизирани райони актуалността на кадастралната основа е поставяна като практически проблем [2], а интегрирането на кадастрални, устройствени и измервателни данни в ГИС среда улеснява проследяването на техния произход и съгласуваност [9, 17, 18]. За настоящия обект това означава, че кадастралната карта, подробната геодезическа снимка, вертикалната планировка и трасировъчният регистър трябва да бъдат разглеждани като свързани части на един процес.

Обект на изследването е част от 24-ти микрорайон в район „Приморски“, гр. Варна, включваща междублокови пространства и прилежащи обслужващи улици. Предмет на анализа са методите за геодезическо осигуряване и проектните решения за вертикално планиране, транспортна организация, паркиране, достъпност и функционално зониране. Целта е да се изведе проверим модел за преобразуване на теренните данни в технически обоснована и приложима проектна геометрия.

За постигане на целта са поставени четири задачи: да се оцени качеството и съвместимостта на изходните данни; да се анализират релефът, настилките, пешеходните връзки и отводняването; да се систематизират количествените параметри на предложеното решение; и да се формулират контролни действия за бъдещото трасиране и строително изпълнение. Този подход съответства на изискването инвестиционният проект да бъде едновременно пространствено определен, нормативно съгласуван и изпълним [4, 11].

2 Обект, изходни данни и нормативна рамка

Изследваната територия е плътно застроена жилищна среда с вътрешноквартални улици, тротоари, паркинги, зелени площи, детски и обслужващи обекти. Проектният обхват е ограничен приблизително от улиците „Никола Козлев“, „Батова“, „Инокентий Софийски“, „арх. Петко Момчилов“, „д-р Басанович“, „Константин Щъркелов“, „Подполковник Калитин“ и „Евлоги Георгиев“. Уличната мрежа в обхвата е с обща дължина около 1350 m и включва улици от V и VI клас. Съществуващите широчини на платната са приблизително 3,50-7,00 m, а транспортното натоварване е оценено като средно.

Изходната геодезическа снимка е предоставена от „Трафик Холдинг“ АД. Тя включва пътни платна, бордюри, тротоари, алеи, паркинги, сгради, шахти, огради, стълбове, растителност и видими белези на инженерните мрежи. За вертикалното планиране са заснети надлъжни профили по осите на улиците през 10 m, както и характерни точки вляво и вдясно от оста. Този интервал осигурява последователно описание на релефа, но при резки чупки, входове, рампи и дъждоприемни шахти е необходима допълнителна сгъстена информация.

Измерванията са изпълнени с двучестотен GNSS приемник HiTarget в RTK режим чрез перманентната мрежа GeoVara. В участъците с ограничен небосвод, плътно застрояване и растителност е използвана тотална станция Trimble M3. Комбинираният подход е технически обоснован, защото RTK осигурява ефективна връзка с координатната система, а тахиметричният метод позволява надеждно определяне на точки в локално затруднена среда. Практическите изисквания към RTK работната основа и контрола на GNSS определенията са разглеждани и в [15, 21, 22].

Таблица 1. Изходни данни и доказателствена функция в проекта

Източник / материал	Функция в изследването
Кадастрална карта и регистри	Идентификатори, граници, сгради и официална пространствена основа.
ПУП и регулационни материали	Улична регулация, устройствени ограничения и връзка със застрояването.
RTK GNSS и тахиметрична снимка	Актуално ситуационно и височинно положение на теренните елементи.
Надлъжни профили през 10 m	Анализ на нивелетите, денивелациите и посоките на повърхностния отток.
Данни за инженерни мрежи	Предотвратяване на проектни конфликти и съгласуване на бъдещото изпълнение.
AutoCAD Civil 3D и цифров модел	Обединяване на 3D точките, моделиране на проектната повърхност и извеждане на коти и наклони.

Геодезическите и проектните разработки са в БГС 2005 и EVRS 2007. Единната хоризонтална и височинна референтна основа е условие за коректно съвместяване на КККР, измерванията, проектните коти и трасировъчния регистър. Кадастралната част се съобразява със ЗКИР и Наредба № РД-02-20-5 [3, 14]. Обхватът на инвестиционния проект следва ЗУТ и Наредба № 4 от 2001 г. [4, 11]. Транспортните параметри се оценяват по действащата редакция на Наредба № РД-02-20-2 от 2017 г., включително измененията от 2026 г. [12], а достъпната среда - по Наредба № РД-02-20-2 от 2021 г., допълнена през 2025 г. [13].

3 Методика за обработка и проектен анализ

Работната методика включва пет последователни и взаимно проверяващи се етапа. Първо се извършва инвентаризация на изходните данни и проверка на координатната им основа. Второ се анализира теренното заснемане и се създава единен 3D модел. Трето се диагностицират функционалните и височинните проблеми. Четвърто се моделира проектната повърхност и се задават ситуационните елементи. Пето се извършва контрол на геометрията, отводняването, достъпността и трасировъчната определеност.

След импорта на измерените точки в AutoCAD Civil 3D се проверяват кодовете и принадлежността им към реални обекти. Точките се структурират по класове - оси, ръбове на настилка, бордюри, входове, шахти, стълби, огради, сгради и растителност. От тях се изграждат характерни линии, защото автоматичната триангулация без правилно зададени прекъсващи линии може да създаде неверни интерполации през бордюри, подпорни елементи или фасади. Практиките за цифрово моделиране и структуриране на пространствени данни са разгледани в [19, 20].

Съществуващата и проектната повърхност се съпоставят чрез коти и наклони. За два характерни пункта надлъжният наклон се определя като $i = (H_2 - H_1) / L \times 100\%$, където H_1 и H_2 са височините, а L е хоризонталното разстояние. При напречните профили се проверяват не само числените наклони, но и посоката им спрямо бордюрите и дъждоприемните шахти. Тригонометричната и геометричната нивелация имат различни

роли в проектния и изпълнителния контрол [6]; при отлагане на критични проектни коти е целесъобразна геометрична нивелация.

Проектният анализ не се ограничава до вертикалната геометрия. За всяка зона се проверяват достъпът до входове и гаражи, маневрирането при паркингите, непрекъснатостта на пешеходните маршрути, връзката с рекреационните площи и запазването на съществуващата растителност. Подобна интегрирана проверка е необходима, защото оптимизиране само на един показател може да влоши друг: увеличаването на паркоместата например не трябва да прекъсва достъпен маршрут или да създава нова безотточна зона.

4 Диагностика на съществуващото положение

Теренният и документалният анализ установява четири групи проблеми. Първата е свързана с амортизирани асфалтови и тротоарни настилки, многократно локално изкърпване и нарушена равност. Втората е недостатъчната организация на паркирането, поради която автомобили заемат тротоари и зелени площи. Третата е прекъснатата или неудобна пешеходна мрежа, включително липсващи понижени бордюри и рампи. Четвъртата е неефективното повърхностно отводняване в участъци с деформирани напречни наклони и дъждоприемни шахти в лошо състояние.

Релефът има обща денивелация в направление север-юг. В съществуващото положение уличните надлъжни наклони са в допустимите граници за класа, поради което проектът не предвижда цялостна промяна на нивелетите. Проблемът е локален: слягания, ниски и разрушени бордюри, неподходящо оформени връзки към паркинги и липса на решено отводняване при ненастлани площи. Следователно правилният проектен принцип е минимална, но точно определена намеса, а не механично преоформяне на целия терен.

Липсата на пълен количествен трафик анализ и демографска прогноза е ограничение на наличните материали. Поради това „нарастващите потребности“ не се интерпретират като доказан процентен ръст на населението, а като наблюдавана функционална недостатъчност на паркирането, пешеходните връзки и обществените пространства. Това разграничение е важно за достоверността: проектните резултати могат да бъдат оценени по геометрични и функционални показатели, без да се заявяват непредоставени статистически зависимости.

5 Проектно решение и вертикално планиране

5.1. Височинно решение и отводняване

Вертикалната планировка е разработена във фаза „Технически проект“ в мащаб 1:500. Основният принцип е запазване на съществуващите нива при входове, гаражи, търговски обекти и основни улични платна, като се въвеждат локални корекции за по-добро отводняване и достъпност. Проектните надлъжни наклони са главно 0,5-2,5%, а в локални рампи достигат 10%. В отделните зони са зададени наклони 1,00%, 1,10%, 1,50%, 2,00%, 2,50%, 3,50% и 4,00%, съобразени с функцията на настилката и посоката на оттичане.

Повърхностните води се насочват гравитачно към съществуващи и предвидени дъждоприемни шахти. При платната посоката се определя към бордюрните линии, а при тротоарите и алеите - към платното, зелените площи или локални водосъбирателни зони. Подмяната на ниските и обрушени бордюри е част от височинното решение, защото бордюрът едновременно определя ръба на настилката и участва в организирането на оттока. Методическите принципи на вертикалното планиране са представени в [1, 8].

Таблица 2. Представителни проектни габарити и напречни наклони

Улица	Платно	Тротоари	Проектен напречен наклон
„Никола Козлев“	5,00 m	2,00-5,00 m	2,00% - едностранен или двустранен
„Подполковник Калитин“	5,00 m; локално 6,00 m	1,20-3,50 m	1,50-2,00% - едностранен
„Константин Щъркелов“	5,50 m	2,40-3,00 m	2,00% - двустранен
„Д-р Басанович“	4,50 m; локално 6,00 m	1,50-4,50 m	1,50-2,00% - едностранен
„Арх. Петко Момчилов“	4,25 m; локално 6,00 m	1,60-4,00 m	Определя се по проектните коти и отводняването

Картограма на земните маси не е разработена като самостоятелна част, тъй като нивелетите и голяма част от съществуващите настилки се запазват, а корекциите са локални. Това решение е допустимо като проектна преценка, но не отменя необходимостта на изпълнителен етап да се определят локалните изкопи и насипи при новите паркинги, рампи и площадки. Ролята на картограмата за проверката на инвестиционния проект е подчертана в [5]; поради това отсъствието ѝ следва да бъде компенсирано с количествени сметки за зоните с реална промяна на терена.

5.2. Транспортно решение и организация на паркирането

Проектът запазва основната структура на второстепенната улична мрежа и предвижда рехабилитация на улиците „Батова“, „Никола Козлев“, „Подполковник Калитин“, „Константин Щъркелов“, „д-р Басанович“, „арх. Петко Момчилов“ и свързани участъци. Корекциите са насочени към възстановяване на настилките, подмяна на бордюри, оформяне на безопасни включвания и по-ясно разделяне на автомобилни и пешеходни потоци. Радиусите в ограничената междублокова среда са от R1,50 до R6,00 m и се избират според конкретната маневра и наличното пространство.

Паркинговото решение включва нови джобове, реконструкция и разширяване на съществуващи паркинги, асфалтови настилки и бетонови паркоелементи на тревна фуга. По трите проектни листа са означени отделни групи с капацитет 4, 6, 11, 12, 15, 26, 27 и 43 места. Тези стойности не се сумират автоматично в настоящия доклад, защото листовете имат зони на припокриване и част от надписите може да се отнасят до един и същ проектен комплекс. За окончателен общ брой е необходим единен паркингов регистър без дублиране.

В по-големите паркингови групи са означени специализирани места за хора с увреждания - например 26 стандартни плюс 3 достъпни места, 15 плюс 1 и 27 плюс 3. Използването на тревна фуга намалява запечатването на терена и може да подпомогне локалното инфилтриране, но не трябва да се представя като заместител на хидравлична проверка. Капацитетът и техническото състояние на дъждовната канализация не са изчислени в предоставената разработка. Като отделно изследване на валежните характеристики е предложен статистически модел на интензивността на валежите в Шуменския регион [23].

5.3. Достъпна среда и функционално зониране

Пешеходната мрежа се реконструира чрез нови бетонови настилки, понижени бордюри и плавни връзки между тротоари, паркинги, входове и обществените

пространства. Решенията трябва да се проверяват по актуалната наредба за достъпност [13], включително напречните наклони, свободните широчини, препятствията и връзката с достъпните паркоместа. Наличието на рампа само по себе си не гарантира достъпност; необходимо е целият маршрут да бъде непрекъснат и без опасни промени в нивото.

Функционалното зониране включва две детски площадки за различни възрастови групи, две зони за отдих с беседки и обзавеждане, площадки за фитнес на открито, спортни площи, маси за тенис и оградена зона за разходка и игра на кучета. Тези обекти са свързани с алейната мрежа и са разположени така, че да обслужват различни групи жители. Проектната стратегия е близка до по-общия подход за дългосрочно обособяване и развитие на градски територии [16], но тук е приложена на локално междублоково ниво.

Запазването на значителна част от съществуващата дървесна растителност е положителен принцип. Около част от дърветата се оформят зелени острови и ограничителни бордюри. На изпълнителен етап обаче трасировката трябва да бъде проверена спрямо реалната коренова зона, а не само спрямо символа на дървото в плана. По този начин се избягва формално „запазване“ на растителност, която впоследствие би била увредена от изкопи или настилки.

6 Трасировъчно осигуряване и контрол на изпълнението

Трасировъчният план е създаден върху кадастралната карта и актуалната геодезическа основа. Той съдържа чупки на бордюрните линии, осови точки, радиуси, проектни коти, контролни размери, граници на настилки и зелени площи. Координатният регистър трябва да позволява всяка проектна точка да бъде свързана с конкретен геометричен елемент и версия на чертежа. Това е особено важно при трите листа, където съседни зони се припокриват.

Ситуационното трасиране може да се изпълни по полярен метод с тотална станция от проверени точки на работната геодезическа основа. Преди строителството е необходимо да се провери устойчивостта и взаимната видимост на опорните точки, както и да се изпълнят контролни измервания към независими точки. Проектните височини на настилки, бордюри и шахти следва да се отлагат чрез геометрична нивелация или чрез друг метод с доказана точност за конкретната задача.

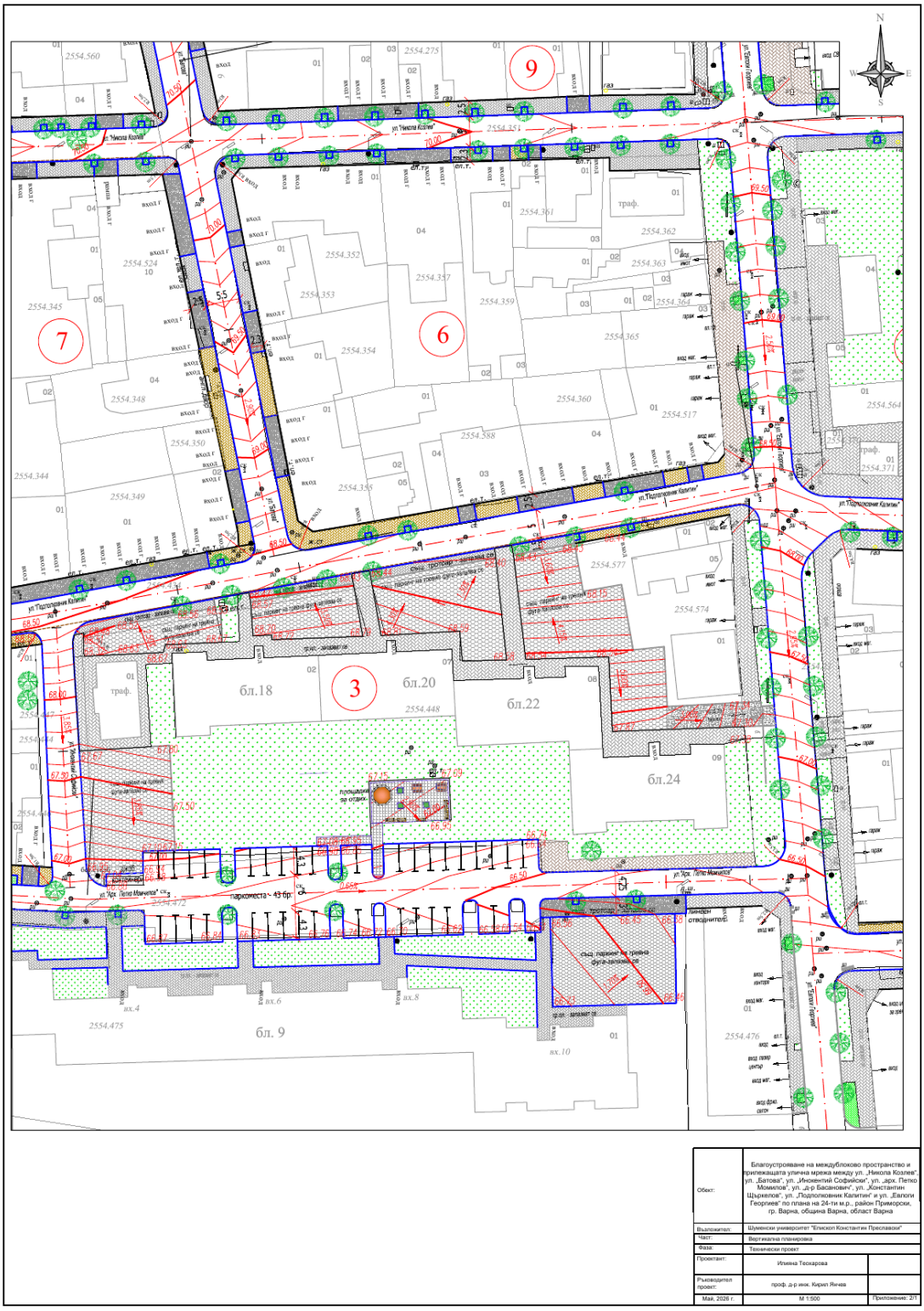
Контролът е целесъобразно да се организира на три равнища. Геодезическият контрол сравнява проектни и изпълнени координати и коти. Геометричният контрол проверява широчини, радиуси и плавност на връзките. Функционалният контрол проследява реалната посока на оттичане, достъпността на маршрутите и възможността за маневриране. Само съвпадението на трите равнища доказва, че проектът е реализиран не просто „по координати“, а с предвиденото експлоатационно качество.

Към изпълнителната документация е препоръчително да се води машинночетим регистър с номер на точка, проектни X, Y, H, измерени X, Y, H, отклонения ΔX, ΔY, ΔH, метод и дата на измерване. За критичните водораздели, шахти, рампи и входове следва да се определят индивидуални допуски. Така цифровият модел, трасировъчният план и изпълнителното заснемане остават проследими до единна координатна основа.

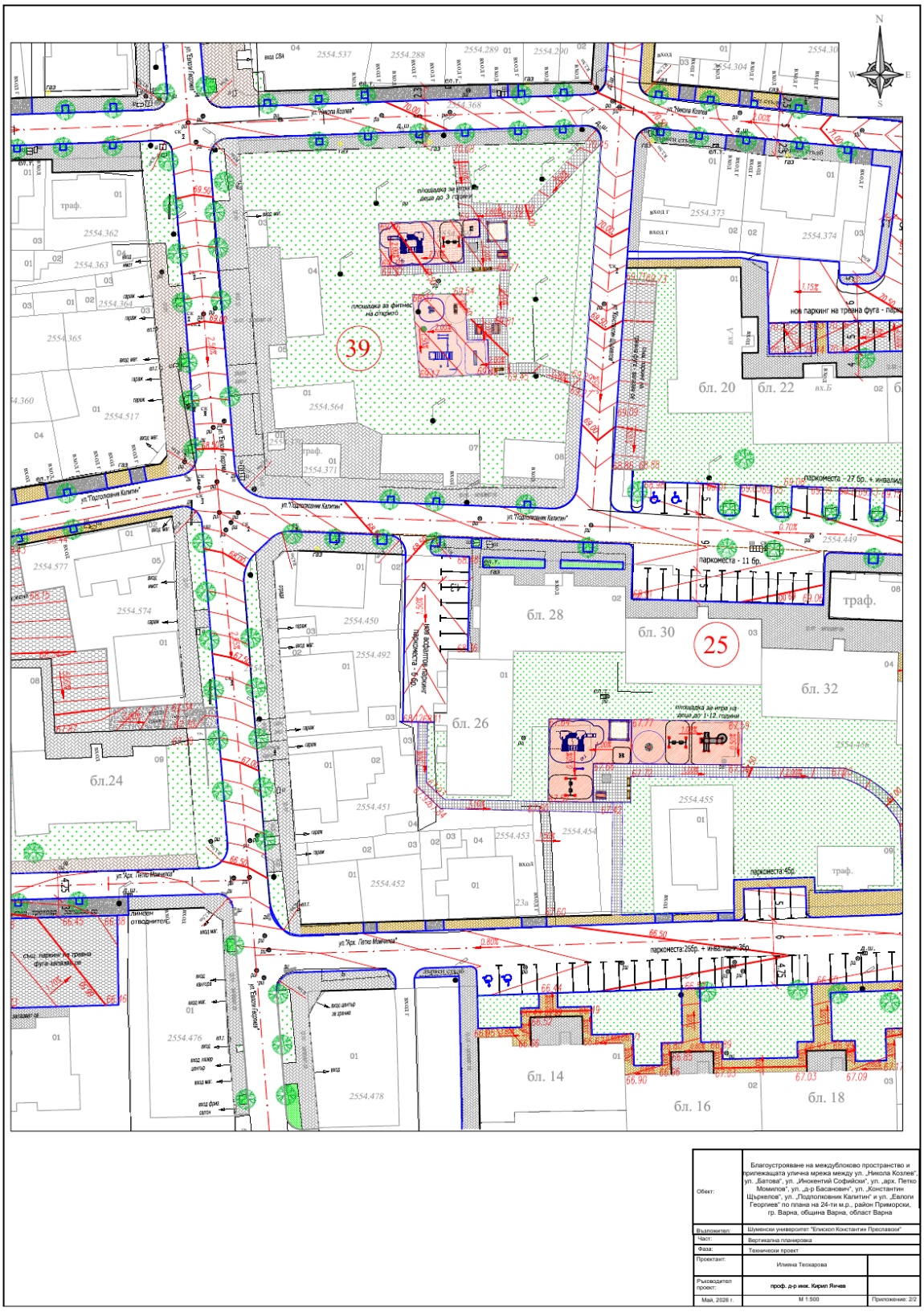
7 Количествени резултати, ограничения и дискусия

Количествените резултати показват, че проектът не се свежда до козметична подмяна на настилки. Той моделира свързана система от улици, паркинги, пешеходни маршрути, достъпни връзки и рекреационни функции. Най-силен е инженерно-геодезическият принос: измерените 3D данни се превръщат в проектни коти, наклони и трасировъчни координати,

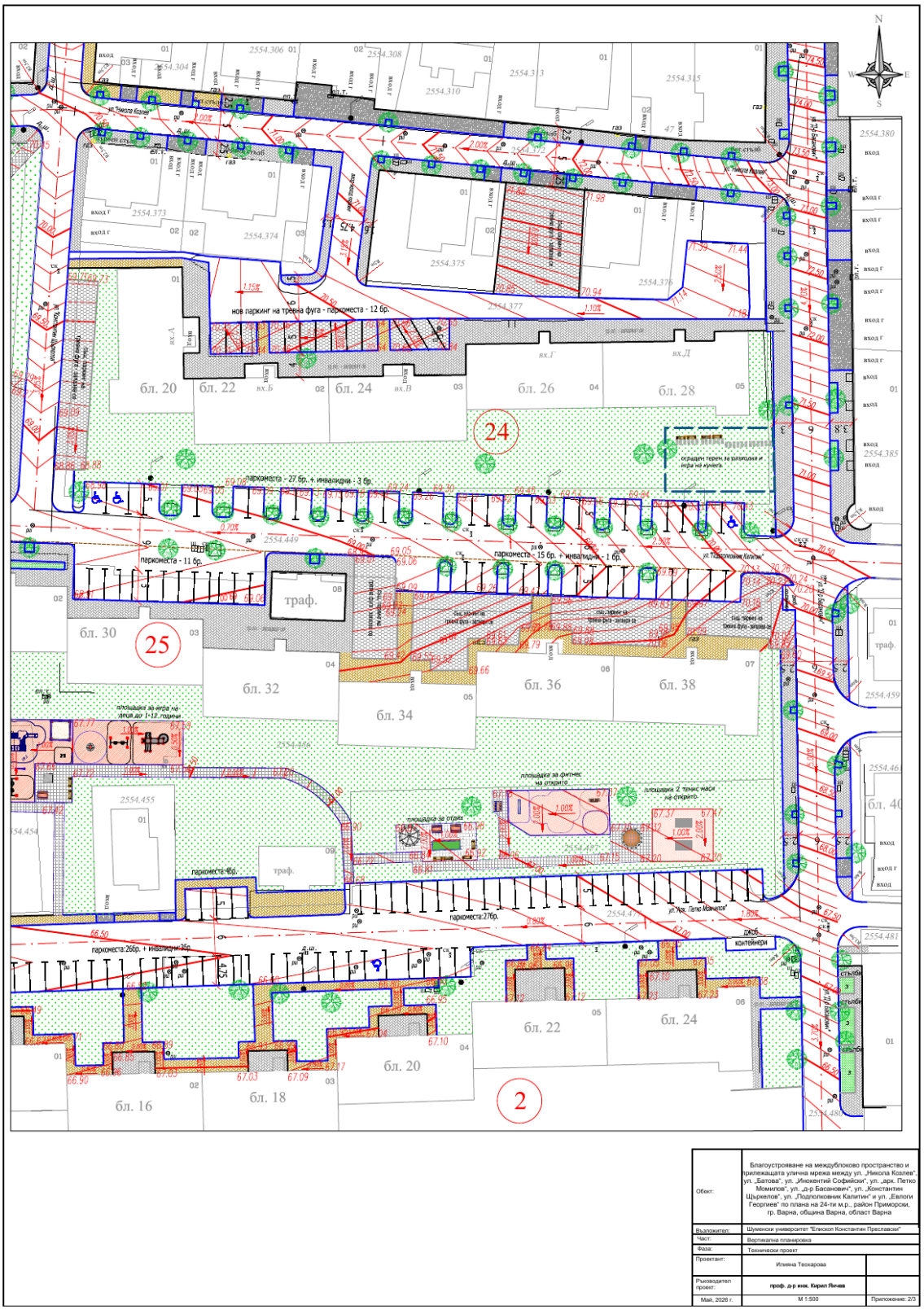
а не остават пасивна подложка. Това съответства на разбирането за геодезията като информационна и контролна основа на инвестиционния процес.



Фиг. 1. Вертикална планировка - западна част на проектния обхват, М 1:500



Фиг. 2. Вертикална планировка - централна част с рекреационни зони и паркинги, М 1:500



Фиг. 3. Вертикална планировка - източна част с достъпни паркоместа и обществени пространства, М 1:500

Таблица 3. Обобщени количествени показатели на проектното решение

Показател	Стойност / проектно решение
Обща дължина на анализираните улици	Около 1350 m
Клас на улиците	V и VI клас от второстепенната улична мрежа
Съществуваща широчина на платната	Приблизително 3,50-7,00 m
Пикетаж на надлъжните профили	През 10 m, със сгъстяване при характерни места
Проектни надлъжни наклони	Основно 0,5-2,5%; локални рампи до 10%
Проектни напречни наклони	Преимуществено 1,5-2,0% за уличните платна
Радиуси при включвания и маневри	R1,50-R6,00 m
Капацитет на отделни паркингови групи	От 4 до 43 места; в част от групите има 1-3 достъпни места
Координатна и височинна система	БГС 2005 и EVRS 2007
Мащаб на вертикалната планировка	1:500, представена на три листа

Същевременно наличните материали имат три ограничения. Първо, не е публикуван пълният протокол от суровите GNSS и тахиметрични измервания, поради което независима статистическа оценка на точността не може да бъде възпроизведена. Второ, липсва единен регистър на всички съществуващи и проектни паркоместа, което не позволява достоверно изчисляване на процентното увеличение. Трето, не е представена хидравлична проверка на дъждовната канализация; следователно подобреното отводняване се доказва геометрично чрез посоките и наклоните, но не и чрез капацитет при изчислителен валеж.

Тези ограничения не обезсилват проекта, но определят как трябва да бъдат формулирани изводите. Правилно е да се твърди, че проектът създава геометрични условия за по-добро отводняване, а не че гарантира капацитета на цялата канализационна система. Правилно е да се представят доказаните групи паркоместа, без да се обявява непроверен общ сбор. Подобна прозрачност прави научния доклад по-надежден и отделя измерените резултати от проектните очаквания.

Като развитие на методиката може да се добави сравнителен ГИС слой „съществуващо - проектно - изпълнено“, в който всяка линия и точка носи идентификатор, източник, дата и точност. Уеб базираната организация на картографски данни [9], ГИС приложенията [18] и моделирането на пространствени данни [20] дават подходяща основа за такъв регистър. Допълнителни източници, включително въздушно заснемане и 3D моделиране [10, 19], могат да подпомогнат общия контрол, но при плътно застроената среда не заменят детайлното определяне на бордюри, шахти и входове с наземни методи.

8 Заключение

Изследването доказва, че преоформянето на междублокова градска среда изисква интегриране на кадастрални, устройствени, геодезически и проектни данни. За разглеждания обект RTK GNSS измерванията, тахиметричната снимка, цифровият модел на терена и вертикалната планировка осигуряват обща пространствена рамка за

реконструкция на около 1350 m второстепенна улична мрежа и прилежащите обществени пространства.

Проектното решение запазва основните съществуващи нивелети и използва локални корекции. Надлъжните наклони са преимуществено 0,5-2,5%, напречните наклони на платната - 1,5-2,0%, а локалните рампи достигат 10%. Предвидени са групи от 4 до 43 паркоместа, достъпни места, нови пешеходни връзки, детски и спортни площадки, зони за отдих и специализирана зона за домашни любимци. Тези параметри дават измеримо съдържание на общата цел за подобряване на градската среда.

Научно-приложният принос е в систематизирането на проследима последователност: проверка на изходната основа, комбинирано теренно заснемане, 3D моделиране, диагностика на релефа, проектни коти и наклони, функционална проверка и трасировъчен контрол. Методиката може да се използва и при други съществуващи жилищни квартали, ако се адаптира към конкретната регулация, инженерни мрежи и теренни ограничения.

За бъдещото изпълнение се препоръчват единен регистър на паркоместата, машинночетим контролен координатен регистър, локални количествени сметки за земните работи, проверка на дъждовната канализация и изпълнително заснемане на критичните коти. По този начин проектното решение ще бъде не само графично представено, но и независимо проверимо при строителството и последващата експлоатация.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Димитрова, Р. Вертикално планиране. Камея Груп ЕООД, София, 2016.

[2] Добрев, С. Проблеми при поддържането актуалността на кадастралната карта в крайбрежните райони. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, т. 2, Шумен, 2022, ISSN 1314-3921, с. 211-214.

[3] Закон за кадастъра и имотния регистър, обн. ДВ, бр. 34 от 25.04.2000 г.; изм. и доп. ДВ, бр. 95 от 07.11.2025 г., в сила от 09.02.2026 г.

[4] Закон за устройство на територията, обн. ДВ, бр. 1 от 02.01.2001 г., с последващите изменения и допълнения.

[5] Иванов, И. Map of the earth masses - role in the investment project. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 27, 2024, ISSN 1314-6289, pp. 22-29.

[6] Иванов, И. Тригонометричната нивелация в проектирането и строителството на линейни обекти. MATTEX 2024: Сборник научни трудове, т. 2, Шумен, 2024, ISSN 1314-3921, с. 247-252.

[7] Иванов, С., Янкова-Йорданова, Й. Качество на данните за пространствена и непространствена картографска информация. IDEA, 2024, ISSN 3033-084X, с. 21-25. DOI: 10.46687/CPNJ6235.

[8] Инструкция за изработване, прилагане и поддържане на планове за вертикално планиране. МРРБ, София, 1998.

[9] Кирилова, К. Метод на организиране и въвеждане на картографски данни в уеб базирана географска информационна система. Годишник на ШУ „Еп. К. Преславски“, Технически науки, т. XI Е, Шумен, 2021, ISSN 1311-834X, с. 30-35.

[10] Кирилова, К., Янчев, К. Оценка на възможността за практическо използване на безпилотна летателна система при триизмерно моделиране на теренна повърхнина. MATTEX 2020: Сборник научни трудове, т. 2, Шумен, 2020, ISSN 1314-3921, с. 247-254

[11] Наредба № 4 от 21.05.2001 г. за обхвата и съдържанието на инвестиционните проекти, обн. ДВ, бр. 51 от 05.06.2001 г.; изм. ДВ, бр. 44 от 02.06.2017 г.

[12] Наредба № РД-02-20-2 от 20.12.2017 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортната система на урбанизираните територии, обн. ДВ, бр. 7 от 19.01.2018 г.; попр. бр. 15 от 16.02.2018 г.; изм. и доп. бр. 98 от 27.11.2018 г., бр. 79 от 04.10.2022 г., бр. 13 и 17 от 2026 г.

[13] Наредба № РД-02-20-2 от 26.01.2021 г. за определяне на изискванията за достъпност и универсален дизайн на елементите на достъпната среда в урбанизираната територия и на сградите и съоръженията, както и техническите изисквания за достъпност на морските плажове, обн. ДВ, бр. 12 от 12.02.2021 г.; доп. ДВ, бр. 7 от 24.01.2025 г.

[14] Наредба № РД-02-20-5 от 15.12.2016 г. за съдържанието, създаването и поддържането на кадастралната карта и кадастралните регистри, обн. ДВ, бр. 4 от 13.01.2017 г.; изм. и доп. ДВ, бр. 72 от 31.08.2021 г.

[15] Стойков, Е. Методика за измерване при създаване на работна геодезическа основа чрез използване на GNSS в режим RTK. MATTEX 2018: Сборник научни трудове, т. 2, ч. 2, Шумен, 2018, ISSN 1314-3921, с. 75-80.

[16] Тодорова, Р., Кирилова, К. Провеждане на стратегия за обособяване на територии за далекоперспективно развитие. MATTEX 2024: Сборник научни трудове, т. 2, Шумен, 2024, ISSN 1314-3921, с. 240-246.

[17] Янчев, К., Кирилова, К. Възможност за построяване на геоинформационни системи на принципа на недетерминирания метод (Н-метод). Годишник на ШУ „Еп. К. Преславски“, Технически науки, т. XI Е, Шумен, 2021, ISSN 1311-834X, с. 40-44.

[18] Dimanova, D. Geographical information systems and their application in various fields. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 27, No. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.46687/jsar.v27i1.409.

[19] Ivanov, S. 2D and 3D computer modeling. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Technical Sciences, Vol. IX E, Shumen, 2019, ISSN 1311-834X, pp. 142-147.

[20] Ivanov, S. Spatial data models. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 20, Shumen, 2021, ISSN 1314-6289, pp. 40-46.

[21] Stoykov, E. Methodology for surveying and tracing of objects by using GNSS. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Technical Sciences, Vol. IX E, Shumen, 2019, ISSN 1311-834X, pp. 21-24.

[22] Yanchev, K. Method for conduct high-precision geodesic measurements using GNSS systems. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 18, 2020, ISSN 1314-6289, pp. 77-81.

[23] Dimanova, D., Tsankov, Ts. Statistical model of the intensity of the rainfall in Shumen region. Journal Scientific & Applied Research, Vol. 4, 2013, pp. 98–105, ISSN 1314-6289.

IDENTIFICATION AND CORRECTION OF AN OBVIOUS FACTUAL ERROR IN THE CADASTRAL MAP FOR A LINEAR OBJECT – ROAD III-3005*

DIMITAR P. IVANOV, KIRIL F. YANCHEV

ABSTRACT: *The paper examines an obvious factual error affecting the representation of road III-3005 in the cadastral map of Barkach, Dolni Dabnik municipality. The case study concerns the section from km 22+010 to km 22+403 and combines cadastral data, a field GNSS survey, a coordinate register, the road design cross-section and digital processing in MKAD for Windows and AutoCAD Civil 3D 2021. A working geodetic control network was established, the road axis was staked at 10 m intervals, and the pavement edges, shoulders, ditches, slopes and adjacent elements were surveyed. The comparison with the cadastral map revealed a systematic mismatch along the linear object and affected parcels in 20 cadastral areas. The final register excerpt contains 26 cadastral records. In a representative subset of five parcels, the affected area is 3,840 sq. m, with individual values from 240 to 2,439 sq. m. On this basis, a contact-zone map, amendment sketches, new boundaries and register data were prepared. The study demonstrates that the reliable correction of a linear cadastral object requires coordinated geodetic, topological, documentary and administrative checks rather than a purely graphical displacement of boundaries.*

KEYWORDS: *obvious factual error, cadastral map, GNSS survey, road III-3005, contact zone, spatial data quality*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26DPK

УСТАНОВЯВАНЕ И ОТСТРАНЯВАНЕ НА ЯВНА ФАКТИЧЕСКА ГРЕШКА В КАДАСТРАЛНАТА КАРТА ПРИ ЛИНЕЕН ОБЕКТ – ПЪТ III-3005

ДИМИТЪР П. ИВАНОВ, КИРИЛ Ф. ЯНЧЕВ

АБСТРАКТ: *В доклада е изследвана явна фактическа грешка при отразяването на път III-3005 в кадастралната карта на с. Бъркач, община Долни Дъбник. Казусът обхваща участъка от км 22+010 до км 22+403 и съчетава кадастрални данни, теренно GNSS заснемане, координатен регистър, проектен габарит на пътя и цифрова обработка в MKAD for Windows и AutoCAD Civil 3D 2021. Изградена е работна геодезическа основа, извършен е пикетаж на оста през 10 m и са заснети ръбове на настилката, банкети, канавки, откоси и прилежащи елементи. Съпоставката с кадастралната карта установява системно несъответствие по линейния обект и засегнати имоти в 20 кадастрални района. Окончателната извадка от регистъра съдържа 26 кадастрални записа. При представителна група от пет имота общата засегната площ е 3840 кв. m, а отделните стойности са между 240 и 2439 кв. m. Въз основа на анализа са изработени карта на контактната зона, скици-предложения, проектни граници и регистрови данни. Резултатите показват, че надеждното отстраняване на грешка при линеен обект изисква съгласувани геодезически, топологични, документални и административни проверки, а не само графично преместване на граници.*

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

1 Въведение

Кадастралната карта е основен източник на пространствена и регистрова информация при устройственото планиране, инвестиционното проектиране, управлението на собствеността и поддържането на техническата инфраструктура. Практическата ѝ стойност зависи не само от пълнотата на обектите, но и от геометричната, тематичната и времевата съгласуваност на данните. В специализираната литература качеството на пространствената и непространствената картографска информация се разглежда като условие за надеждни последващи анализи [5]. Следователно несъответствие между картата и терена не е само графичен дефект, а източник на риск за всички дейности, които използват кадастралната основа.

Проблемът е особено чувствителен при линейните обекти. Малко странично изместване на границата на път може да се развие по значителна дължина, да пресече последователно множество имоти и да доведе до застъпвания, празни ивици и неправилно изчислени площи. Поддържането на актуална кадастрална карта е поставяно като самостоятелен практически проблем и при други територии [1], което потвърждава, че несъответствията трябва да се разглеждат чрез устойчив процес за контрол и актуализация, а не само при възникване на конкретен спор.

Повод за настоящото изследване е установено разминаване между реалното положение на път III-3005 и неговото отразяване в кадастралната карта на с. Бъркач, община Долни Дъбник. Несъответствието е констатирано във връзка с инвестиционно проектиране и рехабилитация на пътния участък. Теренните данни показват, че реалният пътен обхват преминава през части, отразени в КККР като съседни поземлени имоти, поради което е необходимо да се провери дали случаят отговаря на нормативните и техническите признаци на явна фактическа грешка.

Целта на доклада е да се обоснове методическият подход за установяване и отстраняване на явна фактическа грешка при линеен пътен обект чрез съвместен анализ на кадастралните данни, резултатите от геодезическото заснемане, проектния габарит и регистрите на засегнатите имоти. Обект на изследването е кадастралното отразяване на път III-3005 в землището на с. Бъркач, а предмет са техническите критерии, работната последователност и резултатите от проекта за изменение на КККР. Практическият принос е в систематизирането на възпроизводим работен модел, който може да се прилага и при други линейни инфраструктурни обекти.

2 Нормативни и технически критерии за явна фактическа грешка

2.1. Разграничаване на ЯФГ от спор за собственост

По смисъла на § 1, т. 9 от Допълнителните разпоредби на Закона за кадастъра и имотния регистър явната фактическа грешка е технически доказуемо несъответствие в граници, възникнало при обединяване на данни или при несъответствие между съществуващ на терена траен топографски обект и отразяването му в одобрени планове и карти [2]. Съществено е, че чрез тази процедура не се създава и не се разрешава право на собственост. Когато местоположението на границата зависи от конкуриращи се права и липсва еднозначна техническа доказуемост, спорът не може да бъде заменен с процедура по ЯФГ.

Отстраняването се извършва въз основа на проект за изменение на кадастралната карта и кадастралния регистър, изработен от правоспособно лице по кадастър. За констатиране на грешката се изработват карта на контактната зона, списък на засегнатите имоти и проект за изменение, които преминават през предвидените в ЗКИР и Наредба №

РД-02-20-5 проверки [2, 8]. Този подход е съпоставим с разгледаните в литературата практически случаи на ЯФГ в кадастрална карта [11] и с анализа на връзката между кадастър, регулация и използване на графични материали при изменение на картата [4].

2.2. Критерий за точност

Точността се оценява чрез грешката в абсолютното положение на идентична подробна точка $\Delta S = \sqrt{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]}$ и чрез разликата в разстоянието между две подробни точки $\delta S = S - S_0$. Величините сравняват координатите и разстоянията от кадастралната карта с контролно определените чрез геодезическо измерване стойности в координатната система на картата. За неурбанизирана територия допустимите стойности зависят от начина на материализиране на границата [8].

Таблица 1. Допустими стойности за неурбанизирани територии по чл. 18, ал. 5 от Наредба № РД-02-20-5

Вид на границата/обекта	ΔS	δS
Трайно материализирани граници, масивни сгради и съоръжения на техническата инфраструктура	≤ 0,60 m	≤ 0,40 m
Нетрайно материализирани граници на поземлени имоти	≤ 1,20 m	≤ 0,80 m
Нематериализирани граници	≤ 1,80 m	≤ 1,20 m

При разглеждания случай проектните граници са определени при позоваване на чл. 18, ал. 5, т. 3 от Наредбата, т.е. спрямо критерия за нематериализирани граници. Важното методическо следствие е, че визуалното разминаване на две линии не е достатъчно: необходимо е идентичните точки да бъдат определени, разликите да се изчислят в една координатна система и да се докаже превишаване на съответната допустима стойност.

2.3. Специфика на пътя като кадастрален обект

Пътят не се свежда до осова линия или до широчината на настилката. Съгласно Закона за пътищата и Наредба № РД-02-20-2 пътният обхват включва земното платно и прилежащите ограничителни елементи, а геометричното му определяне трябва да отчита платното, банкетите, канавките, откосите и съоръженията [3, 7]. Поради това сравнение само между кадастрална граница и ос на пътя би било методически недостатъчно. Необходимо е да се моделира реалният пространствен обхват и връзката му със съседните имоти.

3 Обект и изходни данни

Изследваният обект е част от път III-3005 по направлението Плевен - Луковит - Ясен - Търнене - Градина - Петърница - Бъркач - Беглеж - Катунец. Общият километраж, посочен в обяснителната записка, е от км 0+000 до км 30+200, а подробно представеният в проекта участък е от км 22+010 до км 22+403, т.е. с дължина 393 m. Възложител е Агенция „Пътна инфраструктура“ - ОПУ Плевен. Кадастралната карта за разглеждания участък е одобрена със Заповед № РД-18-1518 от 22.08.2018 г.

Проектът е иницииран за отстраняване на ЯФГ при поземлени имоти с идентификатори 07524.77.26, 07524.501.644, 07524.83.627 и 07524.310.102, попадащи в обхвата на път III-3005. Последващият анализ показва, че контактната зона влияе върху значително по-широк набор от съседни имоти. Това е типична особеност на линейните

обекти: първоначалното несъответствие се локализира в няколко имота, но топологичното възстановяване на границите засяга цяла поредица от свързани контури.

Таблица 2. Изходни данни и функцията им в изследването

Източник	Съдържание	Функция при анализа
КАИС и действаща КККР	Цифрова карта, идентификатори, площи, собственост	Официално кадастрално състояние преди изменението
Теренно GNSS заснемане	Координати на оста, габарита и прилежащите елементи	Фактическо положение на пътя
Пътен проект	Проектен габарит за рехабилитацията	Контрол на функционалния пътен обхват
Координатни и кадастрални регистри	Точки, площи, стари и нови идентификатори	Количествена и регистрова проверка
MKAD и AutoCAD Civil 3D	Слоеве, контури, цифров модел и скици	Съвместяване, топологичен контрол и проектно изменение

Източниците изпълняват различни доказателствени функции и не могат да бъдат заменяни един с друг. Кадастралната карта показва официално поддържаното състояние, но именно то е предмет на проверката. Теренните измервания дават актуална геометрия, но трябва да бъдат тълкувани с проектните и правните материали. Картната и регистровата част се обединяват в цифрова среда, което е в съответствие с подходите за организиране и въвеждане на картографски данни в ГИС [6] и с по-общата роля на географските информационни системи при интегриране на разнородни пространствени източници [10].

4 Геодезическо заснемане и обработка

4.1. Теренни дейности

За осигуряване на единна измервателна основа е изградена работна геодезическа основа, към която са обвързани теренните дейности. По оста на пътя е извършен пикетаж през 10 m. Този интервал осигурява последователно проследяване на трасето и връзка между геодезическото заснемане и проектните решения за рехабилитацията. Освен осовите точки са определени ръбове на настилката, банкети, канавки, откоси, съоръжения и други характерни елементи, които описват реалния пътен обхват.

Измерванията са изпълнени с GNSS станция Satlab SL900 в RTK режим и са обработени в БГС 2005. Изборът на измервателно оборудване и режимът на работа са съществени за надеждността на резултата, особено когато координатите ще се използват за изменение на официална карта [12]. При създаване на работна основа чрез RTK е необходим контрол на инициализацията, качеството на корекциите, повторяемостта на определянията и връзката с изходните точки [9]. Поради това координатният регистър следва да се разглежда като контролируем измервателен резултат, а не като автоматично генериран списък от точки.



Фиг. 1. Ръчна скица от геодезическото заснемане и номерация на характерните точки

Ръчната скица осигурява семантичната връзка между номерата на измерените точки и реалните елементи на местността. Тя е необходима при проверка на координатния регистър, защото координатата сама по себе си не показва дали точката описва ръб на настилка, банкет, канавка или друг елемент. Така се намалява рискът коректно измерена точка да бъде погрешно включена в проектен контур.

4.2. Кабинетна обработка и контрол

След теренната работа данните са обработени в MKAD for Windows и AutoCAD Civil 3D 2021. Работната последователност включва импорт и проверка на координатите, структуриране на графични слоеве, съвместяване с КККР, изграждане на контури на реалния и проектния пътен обхват, определяне на пресечните площи и проверка за незатворени контури и застъпвания. Всички сравнения са извършени в една координатна

система, защото дори правилно измерени данни биха дали системно изместване при неправилна трансформация.

Контролът следва да бъде двустепенен. На геометрично ниво се проверяват идентичните точки, разликите ΔS и δS и съответствието на контурите. На топологично ниво се проверяват съседствата, затварянето на имотите, отсъствието на недопустими припокривания и връзката между стара и нова геометрия. Накрая регистровият контрол сравнява идентификатори, площи, начин на трайно ползване и собственост. Само съвпадението на тези три равнища позволява проектът да бъде технически проверим.

5 Установяване на ЯФГ при път III-3005

Съвместяването на измереното положение с действащата кадастрална карта установява последователни застъпвания по трасето. Засегнати са имоти от кадастрални райони 11, 17, 56, 70, 73, 76, 77, 79, 82, 83, 84, 103, 153, 154, 159, 161, 309, 310, 312 и 501 - общо 20 кадастрални района. Пространственото разпределение показва, че грешката не е единично локално отклонение между два имота, а има системен характер по линейния обект.

На картата проектната граница е представена спрямо съществуващите кадастрални контури. Застъпванията се появяват от различни страни на пътя и се изменят по протежение на трасето. Това изключва механичното решение чрез паралелно преместване на една линия с постоянна стойност. Проектната граница трябва да следва реално установения пътен обхват и да бъде съгласувана с всеки засегнат имот.

Квалифицирането на случая като ЯФГ се основава на съвкупност от признаци. Пътят е съществуващ траен топографски обект; неговите граници са определими чрез геодезически измервания; съпоставката е извършена в координатната система на кадастралната карта; установените разлики са оценени спрямо чл. 18, ал. 5 от Наредбата; несъответствието има системно развитие по трасето; проектът коригира техническото отразяване, без да решава спор за собственост. Съвкупността от тези обстоятелства е по-убедителна от отделно визуално съвпадение или от единична площна разлика.

6 Количествен анализ на засегнатите имоти

Окончателната извадка от списъка по чл. 42, ал. 13 от Наредба № РД-02-20-5 съдържа 26 кадастрални записа. Те включват 13 имота с частна собственост, 8 с общинска публична, 2 с държавна частна, 2 с държавна публична собственост и 1 имот на обществена организация. Разнообразието на собствеността потвърждава, че изменението има не само геометричен, но и значим административен обхват.

Таблица 3. Структура на извадката от регистъра по вид собственост

Вид собственост	Брой записи	Дял
Частна	13	50,0%
Общинска публична	8	30,8%
Държавна частна	2	7,7%
Държавна публична	2	7,7%
Обществени организации	1	3,8%
Общо	26	100,0%

По абсолютна стойност площните изменения в тази извадка варират от 19 до 8772 кв. m, а медианата е 111 кв. m. При 6 от 26 записа абсолютната разлика надвишава 500 кв. m. В 23 реда площта след корекцията е по-малка, а в 3 е по-голяма или се формира нов контур. Тези знаци не трябва да се сумират като пряка „загуба“ или „придобиване“ на територия: при изменение на общи граници площта, извадена от един контур, може да бъде включена в друг, а част от записите отразяват новообразувани или заличени имоти. Валидният контрол е топологичният баланс на целия проект, а не аритметичният сбор на една колона.



Фиг. 2. Карта на контактната зона между проектния пътен обхват и засегнатите имоти

Таблица 4. Представителна извадка от засегнати имоти

Имот	Площ преди, кв. m	Площ след, кв. m	Засегната площ, кв. m
17.19	6058	5818	240
17.20	8852	8566	287
73.8	1403	777	626
77.28	2754	315	2439
82.15	2934	2686	248

В представителната група общата засегната площ е 3840 кв. m. Средната стойност е 768 кв. m, но медианата е 287 кв. m, което показва силно неравномерно разпределение. Имот 77.28 формира 2439 кв. m, или 63,5% от общата засегната площ в извадката. Следователно единствената средна стойност би създала подвеждаща представа за типичния размер на изменението; необходимо е едновременно да се представят минимум, максимум, медиана и относителният принос на големите стойности.

Дипломната разработка не публикува пълен ред от двойки координати „КККР - контролно измерване“ за всички идентични точки. Поради това в настоящия доклад не се изчисляват измислени минимални, максимални или средни стойности на ΔS. Доказването на превишенията се основава на координатния регистър и проектната документация, а количественият анализ тук е ограничен до наличните площни данни. Това разграничение е важно за възпроизводимостта: площната разлика показва мащаба на последицата, но не замества координатния критерий за наличие на ЯФГ.

7 Проектно решение за изменение на КККР

Проектното решение цели да приведе кадастралното отразяване в съответствие с реалния пътен обхват и с проектния габарит. То включва нови проектни граници, карта на контактната зона, скици-предложения, координатен регистър, списък на засегнатите имоти, кадастрален регистър след изменението и цифров модел. Новите граници са определени въз основа на преките геодезически измервания и при прилагане на критерия по чл. 18, ал. 5, т. 3 от Наредба № РД-02-20-5.

Скицата-предложение визуализира връзката между съществуващите контури и проектната граница. Сред изменените и новообразувани имоти са 07524.11.21, 07524.11.23, 07524.17.18, 07524.17.19, 07524.17.20, 07524.17.21, 07524.56.14, 07524.70.6, 07524.73.8, 07524.76.84, 07524.76.87, 07524.77.25 и 07524.77.28. Изброяването показва, че проектното решение не е еднократно преместване на граница, а последователна актуализация на свързани кадастрални обекти.

При изработването е приложен принципът на минималната необходима намеса: изменят се само границите и регистровите данни, необходими за отстраняване на установеното несъответствие. Това ограничава риска корекцията да създаде нови проблеми в незасегнати имоти. Цифровият модел трябва да премине контрол за затваряне на контурите, съседство, липса на недопустими застъпвания и съответствие между графична и регистрова част.

8 Административна процедура

Техническият проект произвежда действие след преминаване през административната процедура. Работният цикъл започва с възлагането от АПИ - ОПУ Плевен и получаването на актуални данни от КАИС. Следват теренно заснемане, кабинетна обработка, квалифициране на несъответствието, изработване на проект и внасяне в компетентната служба по геодезия, картография и кадастър. Проверяват се комплектността, цифровият формат, правоспособността на изпълнителя, координатите, площите, идентификаторите и топологичната коректност.

Засегнатите лица се уведомяват по реда, приложим към броя на имотите, и могат да се запознаят с проекта и да направят възражения. При възражение техническата проверка трябва да разграничи фактите за местоположението от спор относно правото на собственост. След приемане на проекта и приключване на предвидените действия изменението се нанася в КККР. От този момент новите скици и справки отразяват актуализираната геометрия и регистрови данни.

Административният етап е и последен контрол на проследимостта. За всяка нова граница трябва да е възможно да се установи от кой измерен или проектно обоснован елемент произлиза, кой имот засяга и как е отразена промяната в регистъра. Така проектът се превръща от набор от чертежи в проверима система от взаимно съгласувани доказателства.

9 Дискусия

Разглежданият случай потвърждава изводите от специализираните публикации, че явната фактическа грешка трябва да се установява чрез комбинация от нормативен анализ, геодезическо измерване и кадастрална проверка [11]. Графичните материали са важни за историческата и пространствената интерпретация, но не могат самостоятелно да обосноват изменение, когато липсва връзка с координатна основа и документи [4]. Същевременно казусът показва защо контролът на качеството на пространствените данни [5] трябва да обхваща не само точността на точките, а и топологичната и регистровата съгласуваност.

Силна страна на разработката е наличието на реален проектен казус, теренно заснемане, координатен регистър, контактна зона и площни данни за засегнатите имоти. Допълнително предимство е заснемането на целия пътен обхват, а не само на оста. Ограничение е липсата в текста на пълен набор от сурови наблюдения, повторни определения и двойки идентични точки, чрез които независим изследовател да възпроизведе статистиката на ΔS и δS. В бъдещи разработки е целесъобразно да се публикува анонимизиран контролен набор с точките, типа им, режима на измерване и изчислените отклонения.

Методиката е приложима и към други линейни обекти - канали, диги, железопътни трасета и съоръжения на техническата инфраструктура. Необходимите условия са обектът да е траен и идентифицируем на терена, да има надеждна координатна основа и да могат да бъдат проследени източниците на кадастралната геометрия. ГИС средата улеснява интегрирането на измервания, документи и регистрови атрибути [6, 10], но качеството на крайното решение продължава да зависи от професионалната интерпретация и контрола на данните.



Фиг. 3. Скица-предложение с проектните граници след отстраняване на ЯФГ

10 Заключение

Изследването показва, че несъответствието при път III-3005 има системно пространствено развитие и не може да бъде отстранено чрез локална графична корекция. Теренните GNSS измервания, проектният габарит, кадастралните данни и регистрите трябва да бъдат анализирани като взаимно свързана система.

Установяването на ЯФГ изисква едновременно доказване на съществуващ траен топографски обект, идентичност на сравняваните точки, превишаване на нормативните допустими отклонения и отсъствие на спор за собственост. Площните разлики описват последицата от грешката, но не заместват координатния критерий.

За подробно изследвания участък от км 22+010 до км 22+403 са заснети оста и елементите на пътния обхват, а несъответствието засяга имоти в 20 кадастрални района. Извадката от окончателния регистър съдържа 26 записа с различни видове собственост и силно неравномерни площни изменения. Представителната група от пет имота има общо 3840 кв. m засегната площ, като 63,5% от нея се формира от един имот.

Изработените контактна зона, проектни граници, скици-предложения, координатен и кадастрален регистър създават техническа основа за законосъобразно изменение на КККР. Практическият ефект е по-надеждна кадастрална основа за поддържане и рехабилитация на пътя, за инвестиционно проектиране и за защита на интересите на засегнатите собственици и публичните институции.

Научно-приложният принос на доклада е в обединяването на нормативния критерий, геодезическата технология, топологичния контрол и количествения анализ в последователна методика. Тя показва ясно както необходимите доказателства, така и ограниченията на наличните данни и може да бъде адаптирана при други линейни кадастрални обекти.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Добрев, С. Проблеми при поддържането актуалността на кадастралната карта в крайбрежните райони. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, том 2, Шумен, 2022, ISSN 1314-3921, с. 211-214.

[2] Закон за кадастъра и имотния регистър, обн. ДВ, бр. 34 от 25.04.2000 г., изм. и доп., бр. 95 от 2025 г., в сила от 09.02.2026 г.

[3] Закон за пътищата, обн. ДВ, бр. 26 от 29.03.2000 г., изм. и доп.

[4] Иванов, И. Проблемът кадастър и регулация - изменение на кадастралната карта чрез използване на графични материали. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, том 2, Шумен, 2022, ISSN 1314-3921, с. 258-264.

[5] Иванов, С., Янкова-Йорданова, Й. Качество на данните за пространствена и непространствена картографска информация. IDEA, 2024, ISSN 3033-084X, с. 21-25. DOI: 10.46687/CPNJ6235.

[6] Кирилова, К. Метод на организиране и въвеждане на картографски данни в уеб базирана географска информационна система. Годишник на ШУ „Еп. К. Преславски“, Технически науки, том XI Е, Шумен, 2021, ISSN 1311-834X, с. 30-35.

[7] Наредба № РД-02-20-2 от 28.08.2018 г. за проектиране на пътища, обн. ДВ, бр. 79 от 25.09.2018 г., изм. и доп.

[8] Наредба № РД-02-20-5 от 15.12.2016 г. за съдържанието, създаването и поддържането на кадастралната карта и кадастралните регистри, обн. ДВ, бр. 4 от 13.01.2017 г., изм. и доп., бр. 72 от 31.08.2021 г.

[9] Стойков, Е. Методика за измерване при създаване на работна геодезическа основа чрез използване на GNSS в режим RTK. MATTEX 2018: Сборник научни трудове, том 2, част 2, Шумен, 2018, ISSN 1314-3921, с. 75-80.

[10] Dimanova, D. Geographical information systems and their application in various fields. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 27, No. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.46687/jsar.v27i1.409.

[11] Niyazi-Yusuf, M., Kirilova, K., Yanchev, K. Determination of an obvious factual error in a cadastral map. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 26, 2024, ISSN 1314-6289 (print), ISSN 2815-4622 (online), pp. 19-26.

[12] Yanchev, K. Selection of appropriate geodetic equipment for reception of GNSS signals when conducting high-precision measurements. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 18, 2020, ISSN 1314-6289, pp. 72-76.

STATEMENT OF REAL PROPERTY IDENTITY*

IVAN D. IVANOV

ABSTRACT: *The development of property and cadastral law in the Republic of Bulgaria is in a stage of profound technological and normative transformation, the main goal of which is to achieve absolute legal certainty in civil transactions with real estate. In response to long-standing practical deficits and judicial-administrative conflicts related to the spatial individualization of property objects, the Bulgarian legislator undertook a key reform by adopting the Law on Amendments and Supplements to the Cadastre and Property Register Act (CPRA), promulgated in the State Gazette, issue 95 of 07.11.2025. This normative act, the main provisions of which enter into force on 09.02.2026, institutionalizes and legally defines a completely new instrument for our positive law – the "Identity Statement".*

The integration of the legal institute "Opinion on Identity" into Bulgarian legislation, materialized through § 1, item 23 of the Supplementary Provisions of the CPRA and Art. 16, para. 3 of the CPRA with the Law on Amendments and Supplements to the CPRA (published in the State Gazette, issue 95 of 07.11.2025, in force from 09.02.2026), represents a decisive and fundamentally correct step towards a modern, reliable and consistent system for identifying property. This article examines the possibilities of application and methods for compiling the newly introduced concept, with the main emphasis placed on landed properties.

KEYWORDS: *statement of identity, cadastre, combined sketch, Cadastre and Property Register Act, property law, real estate, legal security*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26IDV

СТАНОВИЩЕ ЗА ИДЕНТИЧНОСТ

ИВАН Д. ИВАНОВ

АБСТРАКТ: *Развитието на вещното и кадастралното право в Република България се намира в етап на дълбока технологична и нормативна трансформация, чиято основна цел е постигането на абсолютна правна сигурност в гражданския оборот с недвижими имоти. В отговор на дългогодишни практически дефицити и съдебно-административни колизии, свързани с пространствената индивидуализация на обектите на собственост, българският законодател предприе ключова реформа чрез приемането на Закона за изменение и допълнение на Закона за кадастъра и имотния регистър (ЗИД на ЗКИР) [3], обнародван в „Държавен вестник", брой 95 от 07.11.2025 г. Този нормативен акт, чиито основни разпоредби влизат в сила на 09.02.2026 г., институционализира и дефинира легално един напълно нов за позитивното ни право инструмент – „Становище за идентичност".*

Интегрирането на правния институт „Становище за идентичност" в българското законодателство, материализирано чрез § 1, т. 23 от ДР на ЗКИР и чл. 16, ал. 3 от ЗКИР със Закона за изменение и допълнение на ЗКИР (обн. ДВ, бр. 95 от 07.11.2025 г., в сила от 09.02.2026 г.), представлява решителна и фундаментално правилна стъпка към модерна, надеждна и непротиворечива система за идентифициране на собствеността. Настоящият доклад разглежда възможностите на приложение и методите за съставяне на нововъведеното понятие, като основен акцент е поставен върху поземлените имоти.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии"

1 Въведение

Същността на реформата е концентрирана в две паралелни законодателни интервенции. На първо място, в чл. 16, ал. 3 от ЗКИР, който очертава ексклузивната компетентност на правоспособните лица по кадастър, изрично се добавя правомощието им да осъществяват „становища за идентичност на недвижими имоти“. На второ място, § 1, т. 23 от Допълнителните разпоредби (ДР) на ЗКИР създава прецизна легална дефиниция на този документ, регламентирайки неговото съдържание, обхват и връзка с останалите кадастрални материали (като комбинираната скица).

За да бъде разбрана същинската правна природа и необходимостта от легално дефиниране на „становището за идентичност“, е наложително да се изследва историческият контекст на кадастралното и устройственото планиране в България. Индивидуализацията на недвижимите имоти през последните сто години е преминала през множество различни нормативни режими, всеки от които е генерирал специфични графични и текстови масиви от данни.

Преди приемането на Закона за кадастъра и имотния регистър през 2000 г., пространствената информация за имотите се е съхранявала в децентрализирани, фрагментирани и често противоречащи си източници. В урбанизираните територии това са били старите кадастрални планове, одобрявани по реда на отменените Закон за планово изграждане на населените места (ЗПИНМ) [5], Закон за териториално и селищно устройство (ЗТСУ) [7] и Закон за единния кадастър на Народна република България (ЗЕКНРБ) [2]. В тези планове имотите са фигурирали като „планоснимачни номера“ или „имоти“, докато в регулационните планове те са били урегулирани като „парцели“ (по ЗТСУ) или „урегулирани поземлени имоти – УПИ“ (след влизането в сила на Закона за устройство на територията – ЗУТ през 2001 г.) [11].

Паралелно с това, в извънселищните територии, процесът по реституция на земеделските земи и горите генерира създаването на Карти на възстановената собственост (КВС). Проблемите, произтичащи от точността на тези карти, са актуален проблем и днес [11, 19].

Със създаването и одобряването на съвременната Кадастрална карта и кадастрални регистри (КККР), базирана на Българска геодезическа система (БГС) 2005, възниква огромно предизвикателство. Документите за собственост, издавани десетилетия назад (нотариални актове, съдебни решения, договори за доброволна делба, решения на Поземлени комисии), описват имотите съобразно старите графични материали. Когато собственикът желае да се разпореди със своя имот днес, нотариусът, съдията по вписванията или съдът трябва да се уверят по несъмнен начин, че описаният в стария акт имот (например парцел VI-235 в кв. 14) е пространствено идентичен с актуалния поземлен имот в действащата КККР.

До обнародването на ДВ, бр. 95 от 2025 г., доказването на тази връзка се осъществяваше чрез т.нар. „удостоверения за идентичност“. Този институт обаче страдаше от тежък концептуален дефицит – липсваше изрична легална дефиниция в ЗКИР, която да стандартизира съдържанието, формата и методологията на изработване на тези удостоверения. Практиката вариране от община до община и от едно правоспособно лице до друго. Често се издаваха удостоверения в свободен текст, които **не почиваха на стриктен геодезически анализ**, което водеше до оспорване на тяхната доказателствена сила в съдебните процеси и създаваше риск за сигурността на гражданския оборот.

Именно този нормативен вакуум и свързаната с него правна несигурност са основният двигател за въвеждането на дефиницията за „Становище за идентичност“ в § 1, т. 23 от ДР

на ЗКИР. Чрез въздигането му в законов ранг, законодателят превръща една неформална практика в строго регламентирана експертна дейност.

2 Сфера на приложение

Ядрото на реформата е съсредоточено в § 1, т. 23 от Допълнителните разпоредби на ЗКИР. Дефиницията е конструирана изключително комплексно, което налага нейния детайлен семантичен и правен разбор:

„*Становище за идентичност“ е становище за съответствие между описанието на недвижим имот - обект на кадастъра, в документ за собственост и идентификатора на имота в кадастралната карта и/или номера на имота в кадастрален план, регулационен или подробен устройствен план, картата на възстановената собственост или друг план или карта, и/или съответствие с местоположението на имота на място. Становището за идентичност на поземлен имот се издава самостоятелно или заедно с комбинираната скица за пълна или частична идентичност в границите на поземлен имот.*“.

Дефиницията започва с уточнението, че обект на изследване е „недвижим имот – обект на кадастъра“. Съгласно чл. 23 от ЗКИР, обекти на кадастъра са поземлените имоти, сградите, съоръженията на техническата инфраструктура (вкл. линейните обекти) и самостоятелните обекти в сгради или съоръжения. Следователно становището за идентичност **не се ограничава само до земята (поземлените имоти)**, въпреки че при тях проблемите са най-остри. То може и трябва да се издава и за сгради (например при преустройства, при които стара сграда с един номер по ЗТСУ получава нов идентификатор по ЗКИР, или при установяване на идентичност на апартаменти след промяна на вътрешната им архитектура).

Въз основа на определението от в § 1, т. 23 от ДР на ЗКИР могат да се формулират няколко хипотези, отнасящи се главно за поземлени имоти, обобщени в таблицата по-долу.

Таблица 1. Примерни приложения на становище за идентичност

Хипотеза на съответствие	Същност и приложение	Правно значение
Документ за собственост спрямо иККР)	Сравнява се словесното описание в титула за собственост с уникалния идентификатор (напр. 68134.100.15) по чл. 26 от ЗКИР.	Най-честата хипотеза; служи директно преднотариус за изповядване на сделки.
Документ за собственост спрямо предходни планове	Анализ на стари номера по кадастрален, регулационен (ЗПИНМ/ЗТСУ), ПУП (ЗУТ) или КВС.	Изключително важно при спорове за придобивна давност и доказване на хронологична собственост през годините.
Документ за собственост спрямо „друг план или карта“	Отворена формулировка, обхващаща специализирани карти, горски карти, карти на инфраструктура.	Позволява гъвкавост на становището при специфични вещни права (напр. сервитути, право на строеж и др.).
Съответствие с местоположението на място	Теренна проверка, съпоставяща хартиените/дигиталните данни с фактическата власт (огради, сгради, трайни маркери).	Ключово за дела по чл. 109 от ЗС и чл. 54, ал. 2 от ЗКИР (спорове за материално право).

„Становището за идентичност“ не би следвало да функционира във вакуум; то е инструмент за реализиране на други важни материалноправни и административни процедури. То следва да окаже ефект върху някои ключови сфери на правния и икономическия живот на Република България.

Първата основна сфера, върху която становището би оказало положителен ефект, е нотариалната практика. Законът за нотариусите и нотариалната дейност (ЗННД) [4] и Гражданският процесуален кодекс (ГПК) [1] задължават нотариуса да провери правото на собственост на прехвърлителя при изповядване на разпоредителна сделка. Когато съществува разминаване между описанието в стария нотариален акт и актуалната скица, нотариусите са изправени пред сериозен риск. С легализирането на становището за идентичност (§ 1, т. 23 ЗКИР), нотариусът получава официално признат от държавата експертен документ. Този документ прехвърля тежестта на доказване и отговорността за геодезическия анализ върху лицето с квалификация, осигурявайки на нотариуса необходимата правна сигурност да изповяда сделката, без да се налага той самият да тълкува стари регулационни планове. Това драстично ще намали случаите на откази за изповядване на сделки, ще ускори гражданския оборот, както и ще предотврати компрометирани сделки и неясни нотариални сделки, последните от които обикновено се съставят с дублирани данни от документ за собственост и актуалната КККР.

Друга ключова сфера, в която би се отчел благоприятен резултат, е съдебната практика. В гражданските дела с вещноправен характер – петиторни искове по чл. 108 от Закона за собствеността (ЗС) [6] (за ревандикация), негаторен иск по чл. 109 от ЗС, искове за определяне на граници по чл. 109а от ЗС и спорове за материално право по чл. 54, ал. 2 от ЗКИР – установяването на идентичността е сърцевината на процеса.

Досега страните трябваше да чакат месеци за назначаване на съдебно-техническа експертиза. Въпреки че Становището за идентичност се издава извънсъдебно, то представлява частен свидетелстващ документ, съставен по строго определен от закона ред от лице, лицензирано от държавата. Като такова, то може да бъде приложено към самата искова молба, очертавайки прецизно предмета на спора. Нещо повече, детайлно аргументираното становище (особено когато съдържа анализ на съответствието с местоположението на място чрез актуални методи като разгледаните в [16]) ще послужи като мощен инструмент за убеждаване на съда още в ранните фази на процеса и може да бъде използвана като база от самите съдебни експерти.

Освен за съдебните производства, „становището за идентичност“ може да бъде използвано като официален документ пред различни административни органи, например общинска администрация, служба по геодезия, картография и кадастър (СГКК), регионална инспекция по околна среда и водите (РИОСВ), както и другаде, където е необходимо. Примерни дейности, които могат да инструментализират резултатите от становището, са:

- отстраняване на непълнота и грешка в гаранционния срок на одобрена кадастрална карта – би могло да послужи като доказателство за иницииране на процедура по отстраняване на непълнота и грешка от съответната фирма изпълнител. Това би било по-целесъобразен финансов избор за възложителя, отколкото традиционното отстраняване на непълнота и грешка, при която стойността на целия проект е за сметка на заинтересованото лице [15].

- основен встъпителен документ за различни устройствени и инвестиционни инициативи, разгледани в [12, 17]. Това би гарантирало липсата на непълнота и грешка, респ. явна фактическа грешка, което е от фундаментално значение за горецитираните процедури.

- други нормативни актове и изисквания, изискващи потвърждаване на правото на собственост или друг вид вещно право в КККР в съответствие с титулните документи.

В бъдеще релевантният подход би бил обвързването и създаването на различни императивни норми в отделни нормативни актове, които недвусмислено да препращат към „становището за идентичност“. Целесъобразно е да се обмисли въвеждане на електронен документ. Това може да се случи чрез промени в Наредбата по чл. 58 от ЗКИР [14], обвързани с въвеждането на становището, като се предвиди услугата да се предоставя изчерпателно чрез информационната система на кадастъра. Това означава, че издаденото от правоспособното лице становище за идентичност няма да бъде просто хартиен документ с печат, а ще има електронен еквивалент, съхраняван в сървърите на АГКК. Аналогично верифицирането на документа следва да се случва с квалифициран електронен подпис (КЕП). Това прекъсва всякаква възможност за антидатиране или фалшифициране на удостоверения.

3 Съдържание и оформление

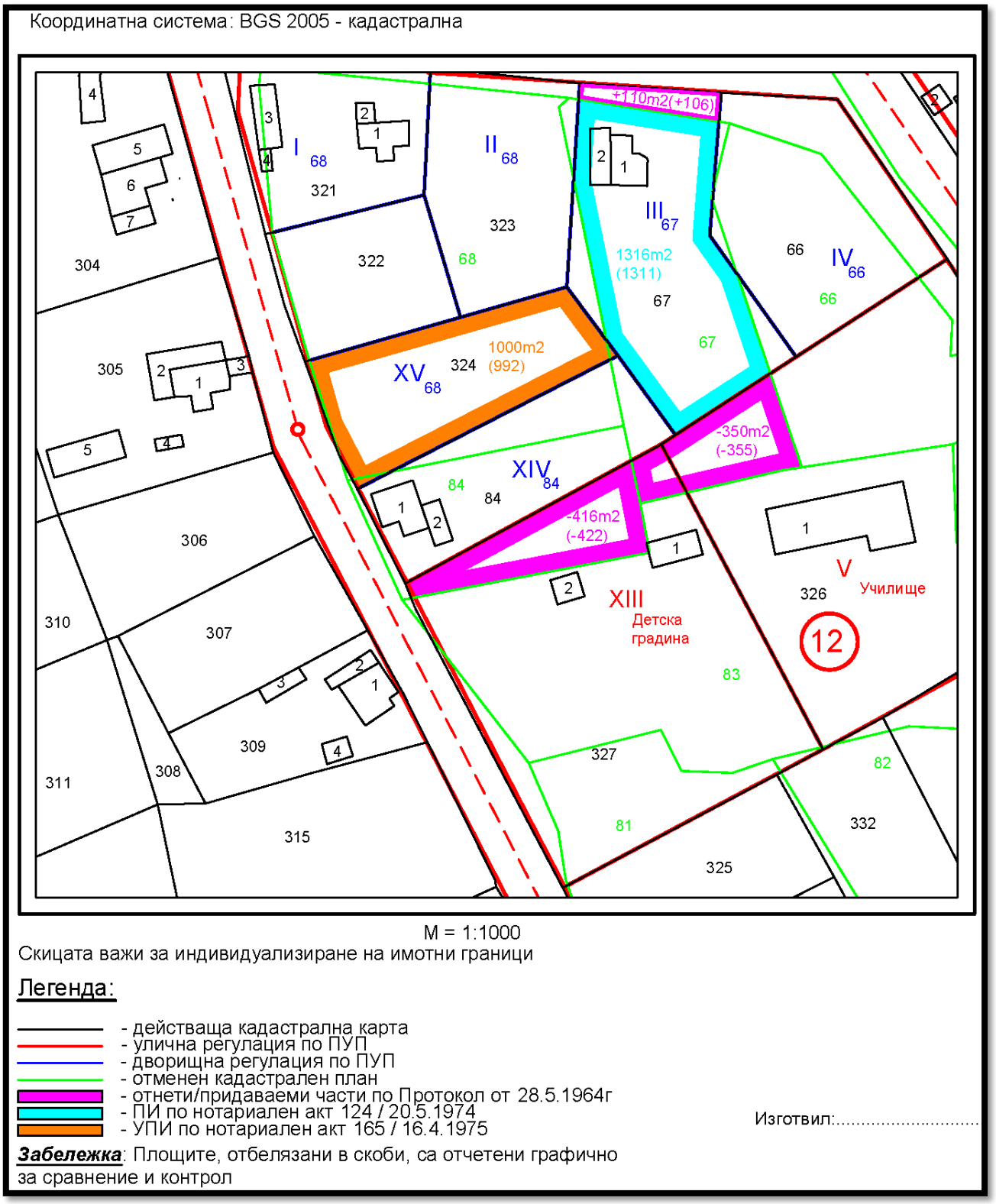
Дефиницията завършва с уточнение за формата: „*Становището за идентичност на поземлен имот се издава самостоятелно или заедно с комбинираната скица за пълна или частична идентичност в границите на поземлен имот*.“.

Тази разпоредба изисква системно тълкуване. Комбинираната скица е предимно визуален и математически продукт. Тя представлява графично наслагване на данни от КККР върху данни от стар устройствен или кадастрален план, като **разминаванията се изобразяват с различни цветове и щриховки**. Макар и технически прецизна, за юристите (съдии, нотариуси) и гражданите тя често е неразбираема без съпътстващ анализ. На фиг. 1 е показано примерно оформление на графичната част.

Препоръчителни елементи на съдържание на комбинираната скица под формата на пояснение в становището или директно в графиката са:

- описание на използваните карти и планове (графични и цифрови) със съответните им заповеди;
- текуща координатна система – това обяснява връзката между различните картни и планови изображение и тяхното наслагване;
- използван метод за георефериране и получени средноквадратични грешки (отклонения) – тъй като в геодезията ефективният контрол над различните приложни дейности е провеждането на идентичното емпирично измерване, добре е да бъдат описани методът на трансформация (афинна, полиномна от по-висока степен и др. [9], за да може при необходимост да бъде осъществен адекватен контрол над получените резултати;
- използвани графични материали ако са предоставени от различни институции;
- данни за геодезически измервания (ако са налични);
- подходяща легенда с недвусмислено описание на обектите и елементите от графичната част.

В този контекст, „становището за идентичност“ функционира като аналитичен интерпретатор на комбинираната скица. То превежда геодезическите линии на юридически език. Становището следва да конкретизира защо се получава разминаване: дали се касае за непълнота и грешка в кадастралната карта, неприложена дворищна регулация по ЗТСУ, за груба грешка в процеса на дигитализация на КВС, за настъпила промяна в местоположението на линеен обект и др.



Фиг. 2. Примерно оформление на комбинирана скица към становище за идентичност.

Законодателят предвижда и опцията становището да се издава самостоятелно. Този подход е продиктуван от принципа за процесуална и административна икономия. В този случай е необходимо изчерпателно конкретизиране на случаите, при които може да бъде приложена тази мярка, тъй като в преобладаващата част от практиката, окончателният резултат от становището ще бъде идентичен с издаваните до момента удостоверения за идентичност от общинска администрация.

Друга конкретика, която липсва към момента, е форматът на предаване, респ. на запис на „становището за идентичност“. В случай че се възприеме тезата за издаване на становището под формата на електронен документ, то най-удачният вариант за файловия формат на становището би бил Portable Document Format (PDF). Макар наличието на разнородни и безплатни географски информационни системи (ГИС) [18], становището е предназначено за широк кръг потребители, които преобладаващо не разполагат с технически умения и специализиран софтуер. PDF е отворен стандарт за обмен на документи, създаден от Adobe Systems през 1993 г. Първоначално частна собственост на Adobe, PDF официално е отдаден като отворен стандарт на 1 юли 2008 г. и публикуван от Международната организация по стандартизация под номер ISO 32000 – 1:2008. PDF файловете са проектирани да бъдат платформено независими, което означава, че могат да се отварят и преглеждат на почти всяко устройство или операционна система без специален софтуер [9].

Неудобството на този файлов формат, е че позволява възможност за манипулации върху картното съдържание, като контролът над графичната информация не може да се осъществи мигновено в сравнение с CAD/ГИС файлов вариант. Макар цифровата обработка на графичните картни материали, използвани за създаването на комбинирана скица, обикновено да се ограничава до ниско ниво на обработка на сканираните изображения (промяна на контраст, яркост, рязкост на детайлите) [20], в практиката са документирани случаи на недобросъвестна обработка на изображенията с цел субективна полза на възложителя. Допълнителен фактор са и индивидуалният подход при дигитализиране на графичните материали, който също генерира дивергентен резултат [10]. Това потвърждава необходимостта от гореизброените елементи на съдържание, с цел осъществяване на адекватен технически контрол. Например при възникване на правен спор след няколко години и липса на горецитираното съдържание, става абсолютно невъзможно да се възпроизведе методът и крайният резултат, което прави документа напълно непроверим и следователно – правно нищожен.

4 Компетентност

Паралелно с дефинирането на понятието „становище за идентичност“, ЗИД на ЗКИР реформира и субектната рамка – кои лица имат право да генерират този документ с висока доказателствена стойност. Това позиционира горецитираното сред ексклузивните дейности, които могат да се осъществяват единствено от правоспособни лица по кадастър, вписани в регистъра по чл. 12, ал. 4 от ЗКИР. Това изключва възможността подобни удостоверения да се издават произволно от общински служители (които не притежават лиценз по ЗКИР) или от нелицензирани технически лица, както понякога се е случвало в миналото с неофициалните „удостоверения“.

С възлагането на тази нова, високоотговорна функция на правоспособните лица, законодателят логично пристъпва към затягане на изискванията за придобиване на самата правоспособност. С § 4 от ЗИД на ЗКИР, в чл. 17, ал. 1, т. 1, буква „б“ след думата

„картографията“ се поставя запетая и се добавя текстът „придобит след датата на дипломиране“. Това добавя допълнителна конкретика спрямо текста в Наредба № 3 от 16 февруари 2001 г. [13], според чл. 10, ал. 3, т. 3 на която се изискваха „*документи, удостоверяващи наличие на двегодишен стаж в областта на кадастъра*“. Основни причини за това са постъпвали искания за вписване в регистъра на лица, които са доказвали изискуемия двугодишен стаж, но този стаж е бил натрупан преди придобиването на висше инженерно образование – например по време на студентски стажове или работа като нискоквалифицирани технически изпълнители в геодезически фирми.

Становището за идентичност не е просто техническо чертане, а изисква дълбоки познания по вещно право, анализ на хронологията на нормативните актове и способност за тълкуване на стари планове. Чрез изискването двугодишният стаж да започне да тече едва след придобиване на диплома за висше образование (като инженер-геодезист), законодателят гарантира, че експертът вече е изградил теоретичния си фундамент и стажът му представлява реално практическо надграждане и поемане на професионална отговорност. Единственият пропуск към сега действащото законодателство е може би доказателството относно действителния акумулиран опит, което би следвало да се доказва с чрез проверка и оценка на знанията, уменията и квалификацията, или с други думи – изпит [8].

С повишаването на статута на този документ нараства и отговорността на правоспособните лица. Съгласно ЗКИР, те носят административнонаказателна, дисциплинарна (заличаване от регистъра) и имуществена отговорност за вреди, причинени от некомпетентно или недобросъвестно изпълнение на задълженията им. Тъй като едно невярно становище за идентичност може да доведе до загуба на вещни права за стотици хиляди левове, се очаква тази законодателна промяна да катализира развитието на пазара на професионални застраховки за геодезисти и да утвърди строга вътрешна саморегулация в гилдията.

5 Заключение

Въвеждането на легалната дефиниция на „Становище за идентичност“ със ЗИД на ЗКИР представлява фундаментална и навременна стъпка към преодоляване на дългогодишните дефицити в кадастралната и вещноправната практика у нас. Чрез институционализирането на този инструмент се постига необходимата правна сигурност в гражданския оборот, като се гарантира безпроблемното изповядване на нотариални сделки и се улеснява работата на съдебната система при решаване на сложни вещноправни спорове.

Трансформирането на досегашната неформална практика по издаване на удостоверения в строго регламентирана експертна дейност поставя високи изисквания към компетентността, опита и отговорността на правоспособните лица по кадастър. Предстоящите предизвикателства пред гилдията и администрацията са свързани с необходимостта от утвърждаване на ясни технически стандарти за съдържанието на комбинираните скици, както и с неизбежния и необходим преход към изцяло електронно издаване, подписване и съхранение на становищата в информационните системи на АГКК.

В дългосрочен план, успешното и последователно прилагане на новите нормативни разпоредби ще повиши доверието в кадастралната система, ще елиминира възможностите за злоупотреби и ще защити в максимална степен правата на собствениците на недвижими имоти в Република България.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Граждански процесуален кодекс – обн. ДВ. бр.59 от 20 юли 2007 г.

[2] Закон за единен кадастър на Народна Република България – обн. ДВ. бр.35 от 4 май 1979 г.

[3] Закон за кадастъра и имотния регистър – обн. ДВ. бр.34 от 25 април 2000 г.

[4] Закон за нотариусите и нотариалната дейност – обн. ДВ. бр.104 от 6 декември 1996 г.

[5] Закон за планово изграждане на населените (отм.) – обн. ДВ. бр.227 от 1 октомври 1949 г.

[6] Закон за собствеността – обн. ДВ. бр.92 от 16 ноември 1951 г.

[7] Закон за териториално и селищно устройство (отм.) – обн. ДВ. бр.29 от 29 октомври 1973 г.

[8] Иванов, И. Геодезията - двойно регулирана професия с тройно членство. E-Journal VFU, 2025, № 23, с. 416-428. ISSN 1314-1147. DOI: 10.53606/evfu.23.416-428.

[9] Иванов, И. Георефериране на едромащабни картни и планови изображения. Шумен, Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2026, 173 с. ISBN: 978-619-201-929-7

[10] Иванов, С. Правила при дигитализиране. MATTEX 2020: сборник научни трудове. Шумен: Университетско издателство „Еп. К. Преславски“, 2020, ISSN 1314-3921, с. 266–270.

[11] Иванова, И., 2016. „Кадастърът в България. Замисъл и изпълнение“, ACMO Academic Press. 2016 г. ISBN 978-619-90684-0-3.

[12] Кирилова, К. и Тодорова, Р. Провеждане на стратегия за обособяване на територии за далекоперспективно развитие. Научна конференция с международно участие MATTEX 2024. Сборник научни трудове. Шумен, 2024, Том 2, с. 240-246. ISSN 1314-3921.

[13] Наредба № 3 от 16 февруари 2001 г. За водене и съхраняване на регистъра на лицата, правоспособни да извършват дейности по кадастъра – обн. ДВ. бр.19 от 2 март 2001 г.

[14] Наредба № РД-02-20-4 от 11 октомври 2016 г. за предоставяне на услуги от кадастралната карта и кадастралните регистри – обн. ДВ. бр.83 от 21 октомври 2016 г.

[15] Ниязи-Юсуф, М. Е. Отстраняване на явна фактическа грешка. Годишник на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“, Факултет по технически науки, 2021, с. 63–67.

[16] Янчев, К. и Кирилова, К. Предефиниране на възможностите на безпилотната летателна система за нуждите на кадастъра. "Научна конференция с международно участие MATTEX 2020. Сборник научни трудове, Том 2, Шумен, ISSN: 1314-3921, стр. 255-261.

[17] Atanasova, S., & Kirilova, K. (2024). Investigating the connection between investment intentions and land status. Journal Scientific and Applied Research, 27, 12–18. https://jsar.ftn.shu.bg/index.php/jsar/article/view/401.

[18] Ivanov, S., Doychinova, K. Types of Information Systems. Journal Scientific and Applied Research, Том 20, № 1, 2021, с. 45-52. ISSN 1314-6289. DOI:10.46687/jsar.v26i1.387.

[19] Niyazi-Yusuf, M., Kirilova, K. and Yanchev, K. (2024) “DETERMINATION OF AN OBVIOUS FACTUAL ERROR IN A CADASTRAL MAP: DETERMINATION OF AN OBVIOUS FACTUAL ERROR IN A CADASTRAL MAP”, JOURNAL SCIENTIFIC AND APPLIED RESEARCH, 26(1), pp. 19–26. doi: 10.46687/jsar.v26i1.390.

[20] Peneva, V., & Stoykov, E. Directions for digital image processing. Journal Scientific and Applied Research, 2023, Vol. 24, No. 1, pp. 62–67. ISSN 1314-6289. Doi: 10.46687/jsar.v28i1.42.

DIGITALISATION OF TOURISM RESOURCES IN RUSENSKI LOM NATURE PARK*

MIROSLAV N. KATSAROV

ABSTRACT: *Digitalisation has become a key factor in the development and competitiveness of tourism destinations, including protected natural areas. The use of geographic information systems, interactive maps, QR codes, mobile applications, virtual routes and data collection and analysis systems creates opportunities both to improve the visitor experience and to support more efficient management and conservation of natural resources. The aim of this paper is to analyse the current state and potential for the digitalisation of tourism resources in Rusenski Lom Nature Park and to propose a model for their integrated digital presentation and management. Documentary, systemic and comparative analyses, an assessment of existing online tourism content and SWOT analysis are applied. The study finds that the park already possesses key components of a digital tourism environment, including an official web portal, GIS functionality, digitally represented tourism routes and the use of QR codes along educational trails. At the same time, substantial opportunities exist for expanding the digital ecosystem through an integrated WebGIS platform, a mobile application, GPS navigation, digital tourism-resource passports, virtual tours and visitor-flow monitoring systems. A digitalisation model based on the principles of sustainable tourism, open data, accessibility and conservation-oriented management is proposed.*

KEYWORDS: *digitalisation, tourism, Rusenski Lom Nature Park, GIS, QR codes, tourism resources, sustainable tourism, smart destination*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26MNK

ДИГИТАЛИЗАЦИЯ НА ТУРИСТИЧЕСКИТЕ РЕСУРСИ В ПРИРОДЕН ПАРК „РУСЕНСКИ ЛОМ“

МИРОСЛАВ Н. КАЦАРОВ

АБСТРАКТ: *Дигитализацията се превръща в ключов фактор за развитието и конкурентоспособността на туристическите дестинации, включително на защитените природни територии. Използването на географски информационни системи, интерактивни карти, QR кодове, мобилни приложения, виртуални маршрути и системи за събиране и анализ на данни създава възможности както за подобряване на туристическото преживяване, така и за по-ефективно управление и опазване на природните ресурси. Целта на настоящата статия е да анализира състоянието и потенциала за дигитализация на туристическите ресурси в Природен парк „Русенски Лом“ и да предложи модел за тяхното интегрирано цифрово представяне и управление. Използвани са документален, системен и сравнителен анализ, оценка на съществуващото онлайн туристическо съдържание и SWOT анализ. Установява се, че паркът вече разполага с основни компоненти на дигитална туристическа среда, сред които официален интернет портал, GIS функционалност, дигитално представени туристически маршрути и използване на QR кодове по образователни пътеки. Същевременно съществуват възможности за значително разширяване на дигиталната екосистема чрез интегрирана WebGIS платформа, мобилно приложение, GPS навигация, дигитални паспорти на туристическите ресурси, виртуални турове и система за мониторинг на посетителските потоци. Предлага се модел за дигитализация, основан на принципите на устойчивия туризъм, отворените данни, достъпността и природозащитното управление.*

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

Увод

Дигиталната трансформация оказва нарастващо влияние върху туристическия сектор. Начинът, по който туристите получават информация, планират своите пътувания, избират маршрути, резервират услуги и споделят преживявания, все по-силно зависи от цифрови технологии. Тези процеси променят не само маркетинга на туристическите дестинации, но и самото им управление. Общите приложения на информационните технологии са разгледани в (Цанков, 2021).

Особено значение дигитализацията придобива при природните и защитените територии. В тях развитието на туристическата дейност е свързано с необходимостта от баланс между достъпността на ресурсите и тяхното опазване (UNEP & UNWTO, 2005; Министерство на туризма, 2018). Цифровите технологии могат да подпомогнат този баланс чрез насочване на посетителските потоци, предоставяне на актуална информация за маршрути, ограничения и природни рискове, както и чрез намаляване на необходимостта от изграждане на прекомерна физическа инфраструктура.

Природен парк „Русенски Лом“ притежава значителни природни и културно-исторически туристически ресурси. Каньоновидните долини, скалните комплекси, богатото биоразнообразие, Ивановските скални църкви, средновековният град Червен и мрежата от пешеходни маршрути създават предпоставки за развитие на природен, културно-познавателен, образователен, орнитоложки и приключенски туризъм.

Наред с традиционните туристически ресурси паркът вече разполага с елементи на дигитална инфраструктура. Официалният интернет портал включва GIS функционалност, а утвърдените туристически маршрути са предназначени за нанасяне и представяне в онлайн картографска среда (ДПП „Русенски Лом“, 2022). Допълнителен пример за навлизане на цифровите технологии е дендропътеката край Нисово, при която част от информационните табла съдържат QR кодове и информация на английски език (ДПП „Русенски Лом“, 2026).

Тези елементи показват, че дигитализацията в ПП „Русенски Лом“ не трябва да се разглежда като напълно бъдеща дейност, а като процес, който вече е започнал и има потенциал да бъде значително разширен.

Обект на изследване е туристическата система на Природен парк „Русенски Лом“. Предмет на изследване са възможностите за дигитализация на природните, културно-историческите и инфраструктурните туристически ресурси и използването на цифрови технологии за подобряване на управлението и туристическото преживяване. Целта на статията е да се анализира настоящото състояние и потенциалът за дигитализация на туристическите ресурси в ПП „Русенски Лом“ и да се предложат практически насоки за изграждане на интегрирана цифрова туристическа екосистема.

Основната изследователска теза е, че дигитализацията на туристическите ресурси в ПП „Русенски Лом“ може едновременно да повиши качеството на туристическото преживяване, да подобри достъпността на информацията и да подпомогне природозащитното управление, при условие че цифровите инструменти се развиват като единна система, а не като несвързани технологични решения.

Теоретични основи на дигитализацията в туризма

Дигитализацията в туризма включва процесите на преобразуване на информация, услуги и управленски дейности в цифров формат и тяхното интегриране в електронна среда. В научната литература развитието на интелигентния туризъм се свързва с използването на информационни и комуникационни технологии за персонализация, свързаност, анализ на

данни и по-ефективно управление на туристическите дестинации (Buhalis & Amaranggana, 2015; Gretzel et al., 2015).

Следва да се направи разграничение между дигитизация, дигитализация и дигитална трансформация. Дигитизацията означава превръщане на аналогова информация в цифров формат, например сканиране на хартиена туристическа карта. Дигитализацията предполага използване на цифровата информация за подобряване на съществуващи дейности, например превръщането на картата в интерактивна GPS система. Дигиталната трансформация има по-широко значение и включва промяна на цялостния начин, по който туристическата организация или дестинация функционира, комуникира и взема решения.

В туризма цифровите технологии изпълняват информационна, навигационна, маркетингова, образователна, резервационна, аналитична, управленска и природозащитна функция. При природните паркове особено важна е последната функция. Интерактивна карта например може не само да покаже интересен маршрут, но и да предупреждава посетителя, че определен участък е временно затворен поради опасност, пожарен риск, гнездови период или ремонт.

Технологично обогатеното туристическо преживяване се характеризира с по-висока степен на персонализация и интерактивност, но ефективността му зависи от това дали технологията допълва, а не измества същността на преживяването (Neuhofer et al., 2014). Това е особено важно за защитени природни територии, където водещ остава непосредственият контакт с природната и културната среда.

Методи

Изследването има аналитико-приложен характер и се основава преимуществено на вторични данни. Използвани са официални материали на Дирекцията на ПП „Русенски Лом“, Министерството на околната среда и водите, Министерството на туризма и UNESCO World Heritage Centre, както и академични публикации, разглеждащи концепциите за smart tourism и технологично обогатено туристическо преживяване.

Приложени са документален анализ, анализ на дигитално съдържание, системен анализ, SWOT анализ и моделен подход. Чрез документалния анализ се изследват управленските и стратегическите документи. Анализът на дигитално съдържание оценява наличните електронни ресурси на парка, включително интернет портал, GIS функционалност, туристически маршрути и QR базирана информация.

Системният анализ разглежда туристическата дигитализация като взаимодействие между информационни данни, потребители, туристически обекти, природозащитно управление и технологична инфраструктура. SWOT анализът структурира основните вътрешни и външни фактори, а моделният подход служи за разработване на концепция за интегрирана цифрова туристическа платформа.

Оценката се базира на състоянието на публично достъпните цифрови ресурси към 2026 г. Ограничение на изследването е липсата на собствено емпирично измерване на потребителското поведение и реалната посещаемост на отделните дигитални услуги.

Туристически ресурси на ПП „Русенски Лом“ като обект на дигитализация

Природни ресурси

Сред природните ресурси, които могат да бъдат дигитализирани, са каньоновидните речни долини, скалните венци, пещерите, панорамните площадки, горските и крайречните екосистеми, местата за наблюдение на птици и ботаническите маршрути.

Дигиталното представяне на тези обекти може да съдържа географски координати, описание, фотографски изображения, природозащитен статус, информация за характерни видове, сезонна достъпност, степен на трудност, препоръчителен период за посещение, указания за безопасност и правила за природосъобразно поведение. Така традиционният природен ресурс се превръща в структуриран цифров туристически обект. Ролята на геодезията в горското стопанство е разгледана в (Стефанова, 2025), а трансформацията на геодезията чрез нови технологии в (Stefanova, 2025a).

Културно-исторически ресурси

Особено значим потенциал за цифрова интерпретация имат Ивановските скални църкви. Те са включени в Списъка на световното наследство на UNESCO през 1979 г. и представляват комплекс от средновековни църкви, параклиси и монашески помещения, издълбани във варовиковите скали (UNESCO World Heritage Centre, n.d.).

За такива обекти дигитализацията може да включва 3D модели, виртуални посещения, високорезолюционни изображения, интерактивна хронология, аудиогид и виртуална реконструкция на недостъпни или увредени части. Дигиталните карти могат да свържат Ивановските скални църкви със Средновековен град Червен, Басарбовския скален манастир и останалите скални комплекси и по този начин да представят региона като интегриран културен ландшафт. Отделен пример за геодезическо подпомагане на реконструкцията и експонирането на културно наследство е вертикалното планиране на Видинската крепостна система „Калето“ (Стефанова, 2022).

Туристическа маршрутна мрежа

Маршрутите са сред ресурсите, които най-лесно могат да бъдат трансформирани в дигитален продукт. Официалната маршрутна система на парка включва главен регионален маршрут и редица отклонения към природни и културни обекти (ДПП „Русенски Лом“, 2022).

Дигиталната трансформация на маршрутната мрежа предполага не само публикуване на линия върху карта, а изграждане на информационен пакет: GPS трак, денивелация, прогнозна продължителност, трудност, сезонни рискове, достъп до вода, точки за отдих, транспортна свързаност и възможни отклонения към обекти.

Съществуваща степен на дигитализация

Официален интернет портал

Официалният сайт на Дирекцията предоставя информация в тематични раздели, свързани с природа, култура, туризъм, документи, новини и проекти. От гледна точка на дигиталната трансформация сайтът изпълнява ролята на основен информационен хъб.

GIS функционалност

Наличието на специализиран GIS раздел представлява важна предпоставка за по-нататъшно развитие на географски базирани туристически услуги (ДПП „Русенски Лом“, n.d.). GIS технологиите могат да обединят пространствена информация за туристически маршрути, защитени местообитания, културни обекти, точки за отдих, посетителски центрове, опасни участъци, сезонни ограничения и транспортен достъп.

Дигитално картографиране на маршрути

Официалният списък на маршрутите предвижда тяхното нанасяне в онлайн картографски системи (ДПП „Русенски Лом“, 2022). Това създава възможност за постепенно преминаване от класическа хартиена карта към интерактивна навигация.

QR кодове

Един от най-актуалните примери за практическа дигитализация е дендропътеката край Нисово. Дирекцията на парка посочва, че по маршрута има информационни табла, част от които предоставят допълнително съдържание чрез QR кодове и информация на английски език (ДПП „Русенски Лом“, 2026). Това е пример за физическо-дигитална интерпретация, при която реалният туристически обект се свързва с допълнително онлайн съдържание.

Положителни ефекти от дигитализацията

Подобряване на туристическото преживяване

Съвременният турист очаква актуална информация още преди посещението. Дигитализираната дестинация позволява предварително да бъдат проверени продължителността на маршрута, денивелацията, трудността, състоянието на трасето, точките за вода, местата за почивка, достъпът с обществен транспорт и сезонните ограничения. Това увеличава чувството за сигурност и улеснява самостоятелното планиране.

Повишаване на достъпността

Цифровата информация може да бъде предоставена на множество езици и в адаптирани формати. Аудиосъдържанието подпомага посетители със зрителни затруднения, субтитрираните видеоматериали - хора със слухови затруднения, а предварителната информация за наклони, настилки и препятствия улеснява хората с ограничена мобилност.

Намаляване на натиска върху природната среда

Дигитализацията може да подпомогне опазването чрез предварително информиране и управление. Мобилно приложение може да предупреждава за временно затворен маршрут, пожарен риск, чувствителен размножителен период или необходимост от движение само по маркираната пътека. Така цифровата технология се превръща в инструмент за природозащитно управление.

Събиране и анализ на данни

Едно от най-големите предимства на цифровата среда е възможността за анализ на реалното потребителско поведение. При спазване на изискванията за защита на личните данни могат да бъдат анализирани най-посещаваните маршрути, сезонността, използваните информационни страници, сканираните QR кодове и най-търсените туристически обекти. Това позволява решенията да се основават на данни, а не само на експертни предположения. За табличната обработка и анализ на събраните показатели е относимо приложението на динамични масиви в MS Excel (Todorova-Lazarova, 2025).

SWOT анализ на дигитализацията

SWOT анализът показва, че паркът не започва дигитализацията от нулева позиция. Налице са начални технологични и информационни компоненти, но съществува необходимост от тяхната стандартизация и интеграция (табл. 1). Като методологична отправна точка от друга приложна област могат да се разгледат подходите и принципите за построяване на информационни системи за логистично управление (Казаков, 2020).

Модел за интегрирана дигитализация

Дигитален регистър на туристическите ресурси

Първият етап е създаването на единна база данни. Всеки туристически ресурс трябва да има цифров паспорт, съдържащ уникален идентификатор, наименование, координати, категория, описание, снимки, режим на достъп, сезонност, ниво на трудност, свързани маршрути, природозащитни ограничения и информация за безопасност.

WebGIS платформа

Върху базата данни може да бъде изградена интерактивна карта, в която потребителят включва и изключва отделни слоеве: пешеходни маршрути, културни обекти, природни забележителности, места за наблюдение на птици, места за отдих, паркинги, обществен транспорт и рискови участъци. Геодезическите подходи и цифровите технологии за оценка и управление на риска от наводнения са разгледани в (Stefanova, 2025b).

Мобилно приложение

Мобилното приложение може да функционира и в offline режим, което е особено важно при природни територии със слаб мобилен сигнал. Основни функции са GPS навигация, офлайн карти, автоматично предупреждение при отклонение от маршрута, аудиогид, QR скенер, SOS информация и известия за временни ограничения.

QR екосистема

Съществуващото използване на QR кодове може да бъде разширено до цялата дестинация. Всеки код може да води до стандартизирана страница с кратка информация, разширено описание, аудио, галерия, карта, близки обекти и природозащитни правила.

3D, AR и виртуални турове

При чувствителни или трудно достъпни ресурси виртуалното представяне може да намали необходимостта от физически достъп. Ивановските скални църкви са особено подходящи за фотограметрично 3D заснемане, виртуално посещение, увеличаване на детайли от стенописите и образователна добавена реалност.

Система за мониторинг на посетителските потоци

Чрез анонимизирани броячи и дигитална аналитика могат да бъдат следени туристическите потоци. При достигане на предварително определено натоварване системата може да предлага алтернативни маршрути. Това превръща дигитализацията от информационен в управленски инструмент.

Концепция за мобилно приложение „Rusenski Lom Digital“

Като практически резултат от изследването може да бъде предложено създаването на интегрирано мобилно приложение условно наречено Rusenski Lom Digital. То би могло да обедини навигационни, образователни, природозащитни и информационни функции.

- „Избери маршрут“ - маршрути според продължителност, трудност и интерес.
- „Природа“ - растителни и животински видове, геология и екосистеми.
- „Култура“ - Ивановски скални църкви, Червен, манастири и археологически обекти.
- „Около мен“ - GPS базирани обекти.
- „Виж с AR“ - интерактивно визуализиране.
- „Правила и безопасност“ - природозащитни режими и предупреждения.
- „Сигнализирай“ - информация за повредена маркировка, отпадъци или опасен участък.

Така посетителят се превръща не само в потребител, но и в участник в управлението. Тази функция може да подпомогне администрацията чрез гражданска обратна връзка, при условие че сигналите се филтрират, геолокират и обработват по стандартизирана процедура.

Таблица 1. SWOT анализ на дигитализацията

Силни страни	Слаби страни
Съществуващ официален туристически портал	Дигиталната информация е разпределена между различни секции
Наличие на GIS раздел	Липса на цялостно интегрирано мобилно приложение
Маршрути, предназначени за онлайн картографиране	Не всички обекти са представени чрез единен цифров стандарт
Използване на QR кодове	Ограничена интерактивност при част от съдържанието
Богато природно и културно съдържание	Неравномерна многоезична поддръжка
Силен визуален потенциал	Липса на публично видима централизирана система за посетителска аналитика
Обекти с международна разпознаваемост	Необходимост от постоянно актуализиране на цифровите данни
Възможности	Заплахи
Разработване на мобилно приложение	Бързо морално остаряване на технологиите
Единна WebGIS туристическа платформа	Недостатъчен бюджет за поддръжка
3D и виртуални турове	Киберсигурност и загуба на данни
AR интерпретация	Слаб мобилен сигнал в отделни зони
Автоматизиран мониторинг на посетители	Цифрово изключване за част от посетителите
Многоезични аудиогидове	Непълна или неактуална информация
Отворени туристически данни	Рискове за поверителността при неправилно събиране на данни
Интеграция с регионален туризъм	Прекомерно насочване на посетители към чувствителни обекти

Дигитализация и устойчиво управление

Действащият План за управление на ПП „Русенски Лом“ е приет с Решение № 760 от 12 октомври 2022 г. на Министерския съвет (МОСВ, 2022; Министерски съвет, 2022). Управлението на защитената територия предполага съчетаване на туристическото използване с природозащитните цели.

В този контекст дигитализацията може да подпомогне пространственото управление чрез насочване на туристите към подходящи маршрути; временното управление чрез сезонни ограничения; информационното управление чрез предупреждения преди потенциално неблагоприятни действия; и аналитичното управление чрез данни за натоварването.

Следователно концепцията за smart destination в защитена територия има различна логика от тази на големите градски туристически центрове. Основната цел не е максимална автоматизация или потребление, а интелигентно регулиране на достъпа до природен ресурс.

Система от индикатори

За оценка на цифровата зрялост следва да се използват измерими показатели, които отразяват не само наличието на технологии, но и тяхната реална употреба и ефект върху управлението (табл. 2).

Не е достатъчно например да се отчете, че са поставени определен брой QR кодове. Следва да се измери колко пъти са използвани, какво съдържание се търси и дали вследствие на информацията се подобрява поведението на туристите.

Етапи на реализация

1. Инвентаризация. Създаване на пълен цифров регистър на туристическите ресурси.
2. Стандартизация. Уеднаквяване на информацията, координатите, фотографиите и метаданните.
3. Интеграция. Свързване на GIS, сайт, маршрути и QR ресурси.
4. Мобилност. Създаване на мобилно приложение и офлайн карти.
5. Интерактивност. Виртуални турове, AR и 3D съдържание.
6. Интелигентно управление. Аналитика на туристическите потоци, автоматични предупреждения и прогнозиране на натоварването.

Подобен поетапен модел позволява разходите да бъдат разпределени във времето и технологичните решения да се развиват според действителните потребности, като се избягва създаването на скъпи цифрови продукти без ясно дефинирана аудитория и план за поддръжка.

Таблица 2. Индикатори за оценка на цифровата зрялост

Област	Индикатор	Желана тенденция
Дигитализирани ресурси	Дял на туристическите обекти с цифров паспорт	Увеличение
Маршрути	Дял с GPS трак и офлайн карта	Увеличение
QR система	Брой активни QR точки	Увеличение
Многоезичност	Дял на съдържанието на поне два езика	Увеличение
Достъпност	Дял на цифровото съдържание в достъпни формати	Увеличение
Потребление	Брой използвания на дигиталната платформа	Увеличение
Актуалност	Среден срок между две актуализации	Намаление
Навигация	Брой регистрирани сигнали за изгубени посетители	Намаление
Екологичен контрол	Брой дигитално управлявани чувствителни зони	Увеличение
Обратна връзка	Брой подадени и обработени туристически сигнали	Увеличение
Удовлетвореност	Средна оценка за цифровите услуги	Увеличение

Рискове и ограничения

Дигитализацията не трябва да бъде възприемана като универсално решение. Сред основните ограничения са необходимостта от устойчиво финансиране и постоянна техническа поддръжка. Цифров маршрут, който не се актуализира след промяна на теренните условия, може да бъде по-опасен от липсата на такъв.

Друг риск е технологичната зависимост. Природният туризъм не трябва да изисква постоянно използване на смартфон. Традиционната маркировка, табелите и физическите карти трябва да продължат да функционират като паралелна система.

Особено важна е киберсигурността и защитата на личните данни. При системи за анализ на местоположение трябва да се използват минимизирани, анонимизирани и статистически данни.

Съществува и природозащитен риск. Публикуването на точни координати на гнезда, редки растителни находища или други чувствителни природни ресурси може да увеличи заплахата за тях. Поради това част от данните следва да бъдат достъпни само за администрацията и научните институции.

Изводи

Резултатите показват, че в ПП „Русенски Лом“ вече съществуват отделни елементи на цифрова туристическа инфраструктура. Наличието на GIS функционалност, маршрути за онлайн картографиране и QR кодове по образователни пътеки показва преход от традиционно информационно представяне към по-интерактивни модели.

Основният проблем е не толкова липсата на цифрови компоненти, колкото необходимостта те да бъдат обединени в единна екосистема. Туристът не трябва да търси отделно карта, информация за маршрута, културния обект и правилата за достъп. Всички тези елементи могат да бъдат свързани чрез един туристически профил на дестинацията.

Особено силен е потенциалът за цифрова интерпретация на взаимодействието между природа и култура. Ивановските скални църкви например могат да бъдат представени не само като културен паметник, а като част от геоморфоложката и природната история на каньона.

Друга важна възможност е преминаването към управление, основано на данни. Вместо администрацията да разполага основно с обща информация за посещаемостта, цифровата система може да покаже кои маршрути се натоварват, кога се използват и на кои места възникват проблеми. По този начин дигитализацията създава връзка между маркетинг и природозащита.

Заключение

Дигитализацията на туристическите ресурси в Природен парк „Русенски Лом“ представлява значителна възможност за развитие на модерна, конкурентоспособна и устойчива туристическа дестинация.

Паркът вече разполага с важни начални предпоставки за този процес - официална интернет платформа, GIS функционалност, дигитално представяне на част от маршрутната система и практическо използване на QR кодове. Следващата стъпка трябва да бъде преходът от отделни дигитални решения към единна цифрова туристическа екосистема.

Тази екосистема следва да интегрира цифров регистър на туристическите ресурси, интерактивна WebGIS система, GPS и офлайн навигация, обща QR инфраструктура, мобилно приложение, 3D и виртуална интерпретация, система за мониторинг на туристическите потоци, механизъм за обратна връзка и многоезично съдържание.

Особено важен е принципът, че дигитализацията не трябва да бъде само маркетингов инструмент. В условията на защитена територия тя трябва да допринася за природозащитното управление. Цифровата система може да ограничава натиска върху чувствителни зони, да насочва туристическите потоци, да информира за ограничения и да предоставя данни за вземане на управленски решения.

Следователно най-високата форма на дигитализация в ПП „Русенски Лом“ не е просто наличието на повече електронна информация, а изграждането на интелигентна природна туристическа дестинация, в която данните и технологиите подпомагат както преживяването на посетителя, така и дългосрочното опазване на природното и културното наследство.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Цанков Ц. С. Приложение на информационните технологии. Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2021, 139 с., ISBN 978-619-201-469-8.

[2] UNEP, UNWTO. Making tourism more sustainable: A guide for policy makers. United Nations Environment Programme and World Tourism Organization, 2005.

[3] UNESCO World Heritage Centre. Rock-Hewn Churches of Ivanovo. UNESCO World Heritage List, n.d.

[4] Дирекция на Природен парк „Русенски Лом“. Утвърдени за маркиране и нанасяне туристически маршрути в Природен парк „Русенски Лом“ и в районите в съседство. ДПП „Русенски Лом“, 2022.

[5] Дирекция на Природен парк „Русенски Лом“. Дендропътека в ДПП „Русенски Лом“. ДПП „Русенски Лом“, 7 юли 2026.

[6] Дирекция на Природен парк „Русенски Лом“. Географска информационна система. ДПП „Русенски Лом“, n.d.

[7] Казаков Ст. Подходи и принципи за построяване на информационни системи за логистично управление. MATTEX 2020, Шумен, 2020, с. 341–345. ISSN 1314-3921.

[8] Министерство на околната среда и водите. План за управление на Природен парк „Русенски Лом“. София: МОСВ, 2022.

[9] Министерски съвет. Решение № 760 от 12.10.2022 г. за приемане на План за управление на Природен парк „Русенски Лом“. Държавен вестник, бр. 83/2022, 2022.

[10] Министерство на туризма. Актуализирана Национална стратегия за устойчиво развитие на туризма в Република България 2014–2030 г. София: Министерство на туризма, 2018.

[11] Стефанова А. Ролята на геодезията в горското стопанство. Сборник доклади от Годишната университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“, направление „Технически науки“, Велико Търново, 5–6 юни 2025, с. 672–679, ISSN 1314-1937, ISSN 2367-7481.

[12] Стефанова А. Специфика на вертикалното планиране в проекта за реконструкция и експониране на Видинска крепостна система „Калето“. Геодезия, картография, земеустройство, бр. 3–4, 2022, с. 36–42, ISSN 0324-1610.

[13] Buhalis D., Amaranggana A. Smart tourism destinations enhancing tourism experience through personalisation of services. In: Tussyadiah I., Inversini A. (Eds.), Information and Communication Technologies in Tourism 2015. Springer, 2015, pp. 377–389.

[14] Gretzel U., Sigala M., Xiang Z., Koo C. Smart tourism: Foundations and developments. Electronic Markets, Vol. 25, 2015, pp. 179–188.

[15] Neuhofer B., Buhalis D., Ladkin A. A typology of technology-enhanced tourism experiences. International Journal of Tourism Research, Vol. 16, No. 4, 2014, pp. 340–350.

[16] Stefanova, A. Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. Proceedings of the International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering ArCivE 2025, Varna, Vol. 5, 2025a, pp. 311–317, ISSN 2535-0781.

[17] Stefanova, A. Flood risk assessment and management under directive 2007/60/EU: geodetic approaches and digital technologies for effective prevention. Environment. Technology. Resources, Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference, Rezekne, Latvia, 19–20 June 2025b, Vol. 4, pp. 393–397, ISSN 2256-070X. https://doi.org/10.17770/etr2025vol4.8402

[18] Todorova-Lazarova, V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED DETAILED SPATIAL DEVELOPMENT PLAN AND A PARCEL PLAN FOR THE WATER AREA OF CHAIKA FISHING PORT, BYALA*

RADOMIR D. TEOHAROV, KRASIMIRA K. KIRILOVA

ABSTRACT: *The paper presents a specialized detailed spatial development plan - regulation and development plan - and a parcel plan for the water area of the existing Chaika fishing port in Byala, Bulgaria. The planning solution integrates cadastral information with geodetic measurements and hydrographic and bathymetric surveys carried out in BGS2005 and EVRS. The resulting spatial model supports the regulation of the land area, transport access, development parameters and functional zoning of the harbour water area. The project provides for extension of the existing breakwater by 150 m, construction of a new 210 m breakwater, seven new floating piers and a total capacity of 264 berths. The results demonstrate the role of coordinated geodetic, hydrographic and spatial-planning data in improving navigation safety and supporting sustainable port development.*

KEYWORDS: *specialized detailed spatial development plan, parcel plan, harbour water area, fishing port, geodesy, hydrography, bathymetry*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26RDT

РАЗРАБОТВАНЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАН ПОДРОБЕН УСТРОЙСТВЕН ПЛАН И ПАРЦЕЛАРЕН ПЛАН НА АКВАТОРИЯТА НА РИБАРСКО ПРИСТАНИЩЕ „ЧАЙКА“, ГР. БЯЛА

РАДОМИР Д. ТЕОХАРОВ, КРАСИМИРА К. КИРИЛОВА

АБСТРАКТ: *Докладът представя разработването на специализиран подробен устройствен план - план за регулация и застрояване, и парцеларен план на акваторията на съществуващото рибарско пристанище „Чайка“ в гр. Бяла. Проектното решение интегрира кадастрални данни, геодезически измервания и хидрографско и батиметрично заснемане. Създаденият пространствен модел е използван за определяне на регулацията, параметрите на застрояване, транспортния достъп и функционалните зони на акваторията. Предвиждат се удължаване на съществуващата буна със 150 m, ново брегоукрепително съоръжение с дължина 210 m, седем нови плаващи понтона и капацитет до 264 лодкоместа. Резултатите показват значението на координираното използване на геодезически, хидрографски и устройствени данни при развитието на пристанищната инфраструктура.*

1 Въведение

Устройственото планиране на рибарските пристанища изисква едновременно разглеждане на сухоземната територия, акваторията, транспортните връзки и хидротехническите съоръжения. Целта на разработката е да се създаде технически, функционално и нормативно обосновано решение за разширение, реконструкция и модернизация на рибарско пристанище „Чайка“, основано на единна пространствена информация [3, 4, 9].

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

За постигане на целта са анализирани съществуващото състояние, кадастралната и устройствената основа, теренните ограничения и навигационните условия. Изпълнени са геодезическо и хидрографско заснемане, цифрово моделиране и съвместяване на данните, след което са разработени регулационното решение, планът за застрояване, транспортната схема и парцеларният план на акваторията. Подходът позволява всяко проектно решение да бъде проследено до конкретна измерена или нормативно определена предпоставка.

Основните задачи включват установяване на актуалното състояние на пристанищната територия и акваторията; изграждане на единна координатна и височинна основа; определяне на устройствените показатели и транспортното обслужване; функционално зониране на водното пространство; както и създаване на графични материали, приложими при последващото инвестиционно проектиране. По този начин устройственото решение се основава на измерени характеристики на обекта, а не единствено на архивни планове.

Методическият подход обхваща последователно събиране и проверка на изходните данни, теренни измервания, обработка и пространствено съвместяване, анализ на ограниченията и разработване на проектните решения. Особено внимание е отделено на връзката между релефа, бреговата линия, дълбочините и експлоатационните изисквания към малките рибарски плавателни съдове. Получената цифрова основа позволява вариантите да бъдат проверявани едновременно спрямо кадастралните граници, нормативните режими и реалната геометрия на терена и морското дъно.

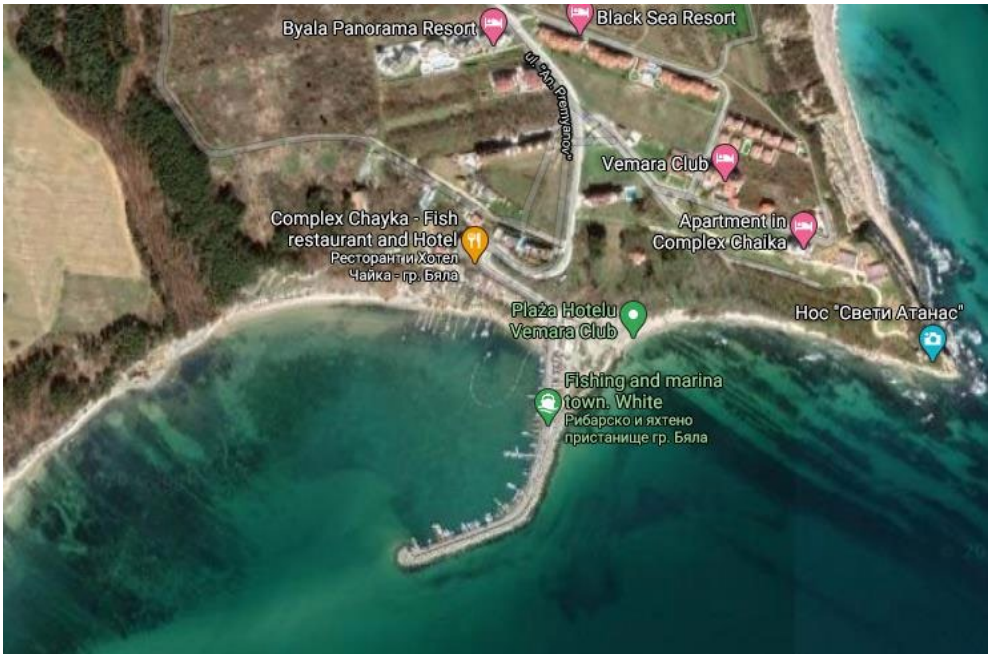
2 Характеристика на обекта и изходни данни

Пристанището е разположено южно от курортната зона на гр. Бяла, в крайбрежна територия със стръмни склонове, ограничени равнинни площи и съществуващи брегоукрепителни съоръжения. Сухоземната част има ограничен капацитет за развитие, а достъпът се осъществява по серпентинно трасе. В акваторията са установени плитководни участъци и специфични условия за подхождане, маневриране и домуване на малки рибарски плавателни съдове.

Като изходна основа са използвани кадастралната карта и кадастралните регистри, действащата устройствена документация, геодезическо заснемане, хидрографски и батиметрични данни, информация за инженерната инфраструктура и данни за съществуващите пристанищни съоръжения [2, 11]. Необходимостта от актуални кадастрални данни е особено съществена в крайбрежните райони, където поддържането на кадастралната карта е свързано със специфични проблеми [1]. Съвместяването им позволява сухоземната и водната част да бъдат разглеждани в общ пространствен модел.

Изходните материали са проверени за актуалност, мащаб, координатна определеност и взаимна съвместимост. Кадастралните граници и идентификаторите на засегнатите имоти са съпоставени с измереното на място положение на бреговата линия, пътя, сградите и хидротехническите съоръжения. Проверени са и наличните данни за сервитути и инженерна инфраструктура. Тази предварителна оценка ограничава риска архивна или непълна информация да бъде пренесена механично в проектната разработка [2, 11, 13].

Релефът е основно ограничение за устройственото решение. Стръмният склон към морето и малкото равнинни площадки не позволяват свободно разгръщане на сухоземната инфраструктура. Същевременно сложната конфигурация на брега, съществуващата буна и участъците с тетраподи определят възможните места за връзка между сушата и водата. Поради това е търсена компактна организация, която използва съществуващия достъп и ограничава новите изкопни, насипни и укрепителни работи.



Фиг. 1. Местоположение на рибарско пристанище „Чайка“, гр. Бяла

Нормативна основа

Разработката е съобразена със Закона за устройство на територията, Закона за кадастъра и имотния регистър, Закона за устройството на Черноморското крайбрежие и Закона за морските пространства, вътрешните водни пътища и пристанищата. Обхватът и съдържанието на графичните материали са определени по приложимите наредби за устройствено и пристанищно планиране [3-5, 8, 9, 11]. Нормативната рамка е използвана не само като формално основание, а като система от ограничения при определяне на регулацията, застрояването, акваторията и транспортното обслужване

3 Геодезическо и хидрографско осигуряване

3.1. Геодезическо заснемане

Геодезическите измервания са изпълнени в координатна система БГС2005 и височинна система EVRS. За изграждане на координатната основа и определяне на характерни точки е използван GNSS приемник Satlab SL900, като при високоточните геодезически измервания изборът на подходящ приемник е съществен за постигане на необходимата точност и производителност [16]. Детайлното ситуационно и релефно заснемане е извършено с роботизирана тотална станция Topcon OS103. Определени са границите на имотите, сградите, пристанищните съоръжения, бреговата линия, пътните връзки, подпорните елементи и техническата инфраструктура.

Поради денивелацията и ограниченията за пряка видимост станциите са подбрани така, че да осигуряват пълно покритие и контрол на измерванията. GNSS определя опорните точки, а тахиметричният метод допълва заснемането в зоните около ската, сградите, подпорните елементи и буната. Заснети са характерни чупки на релефа, граници на настилки, кейови ръбове, тетраподи и точки по бреговата линия. Комбинирането на двата метода намалява влиянието на локалните препятствия и осигурява достатъчна подробност за мащаба на проектните планове [16].

3.2. Хидрографско заснемане и батиметричен модел

Хидрографското заснемане е извършено със SMART ехолот Airmar SS510, комбиниран с GNSS позициониране, в съответствие с принципите на измерване с хидрографски акустични системи [15]. Данните са обработени в Hydromagic и AutoCAD Civil 3D, като чрез пространствена интерполация е създаден цифров модел на морското дъно и са генерирани изобати през 1,00 m [14]. Установените дълбочини са приблизително 0,80-1,50 m в крайбрежната зона и 3,50-4,00 m към открито море. Тези данни са използвани при разполагане на понтоните и определяне на зоните за маневриране и подхождане.

Измерванията са проведени по предварително определени профили с моторна лодка с газене около 0,50 m, което позволява достигане до плитководните крайбрежни участъци. Преди и след работата е извършена проверка на ехолота и са отчетени условията на морската вода и моментното водно ниво. Координатите и измерените дълбочини са регистрирани едновременно, а единичните аномални стойности са проверени при обработката. Така се осигурява надеждна връзка между всяка дълбочина и нейното планово положение [15].



Фиг. 2. Ситуационно и батиметрично заснемане на пристанищната акватория

3.3. Обработка и съвместяване на данните

Интегрирането на кадастралната, геодезическата и хидрографската информация осигурява единна база за проектните решения. В този контекст географските информационни системи предоставят възможности за събиране, съхраняване, анализ и визуализация на пространствени данни и подпомагат вземането на решения при устройственото планиране [13]. При съвместяване на картни и планови материали, създадени в различни координатни системи, георефернрането позволява тяхното привеждане към обща пространствена основа [6]. По този начин регулационните линии,

транспортната схема и водните функционални зони са определени спрямо реалното пространствено положение на терена и морското дъно, а не само по налични архивни планове.

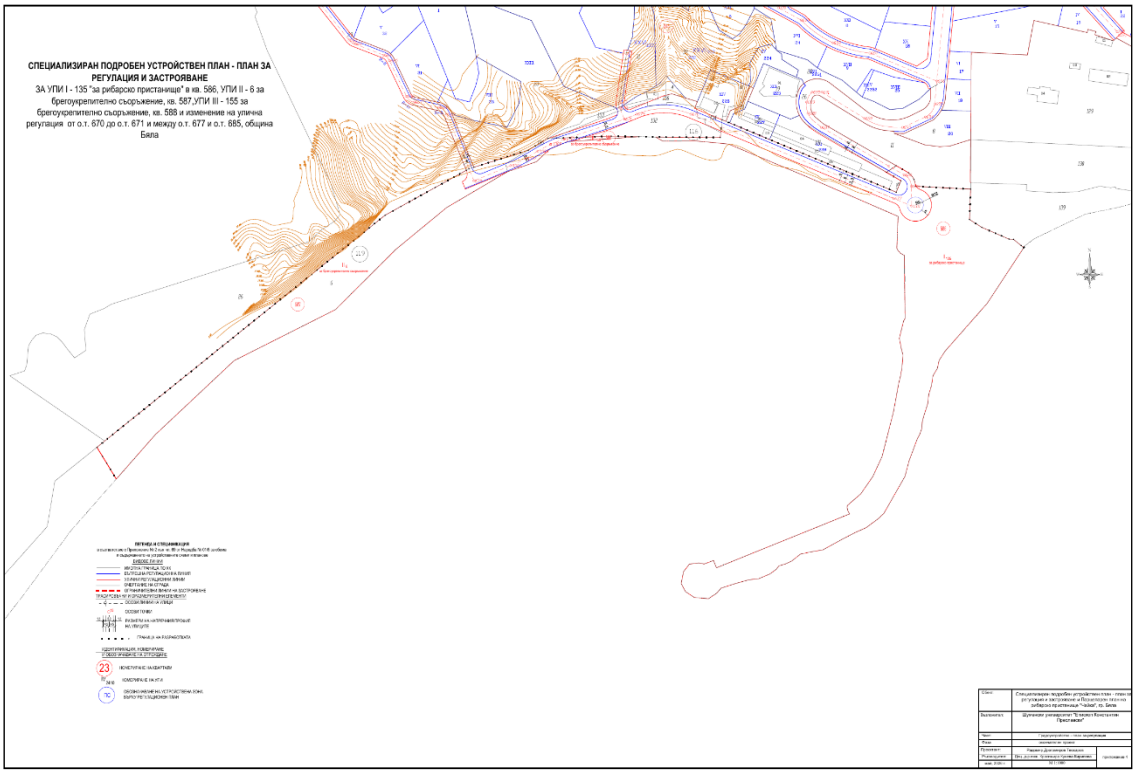
При обработката са извършени контрол на измерванията, уеднаквяване на координатната и височинната основа и проверка за несъответствия между кадастъра и фактическото положение. От точките на сухоземното заснемане е създаден цифров модел на терена, а от хидрографските наблюдения – модел на морското дъно. Двата модела са съвместени по бреговата линия и образуват непрекъсната пространствена основа. Това позволява да се оценят наклоните, достъпът, възможните зони на наносно натрупване и необходимите проектни дълбочини [13, 14].

4 Разработване на проектното решение

4.1. План за регулация

Планът за регулация е разработен при отчитане на кадастралните граници, съществуващото ползване и необходимостта от функционална връзка между територията и акваторията. Връзката между кадастралната карта и регулацията е отчетена при формирането на новите урегулирани поземлени имоти [7]. От ПИ 07598.116.135 се образува УПИ I-135, кв. 586, с предназначение „за рибарско пристанище“. От ПИ 07598.116.155 се образува УПИ III-155, кв. 588, а от част от ПИ 07598.119.6 - УПИ II-6, кв. 587, и двата с предназначение „за брегоукрепително съоръжение“.

Трите урегулирани поземлени имота попадат в охранителна зона „А“ по Закона за устройството на Черноморското крайбрежие. Поради това регулационното решение е съобразено с режима на специална териториално-устройствена защита и с ограничените възможности за намеса в крайбрежния релеф [4, 8, 9].



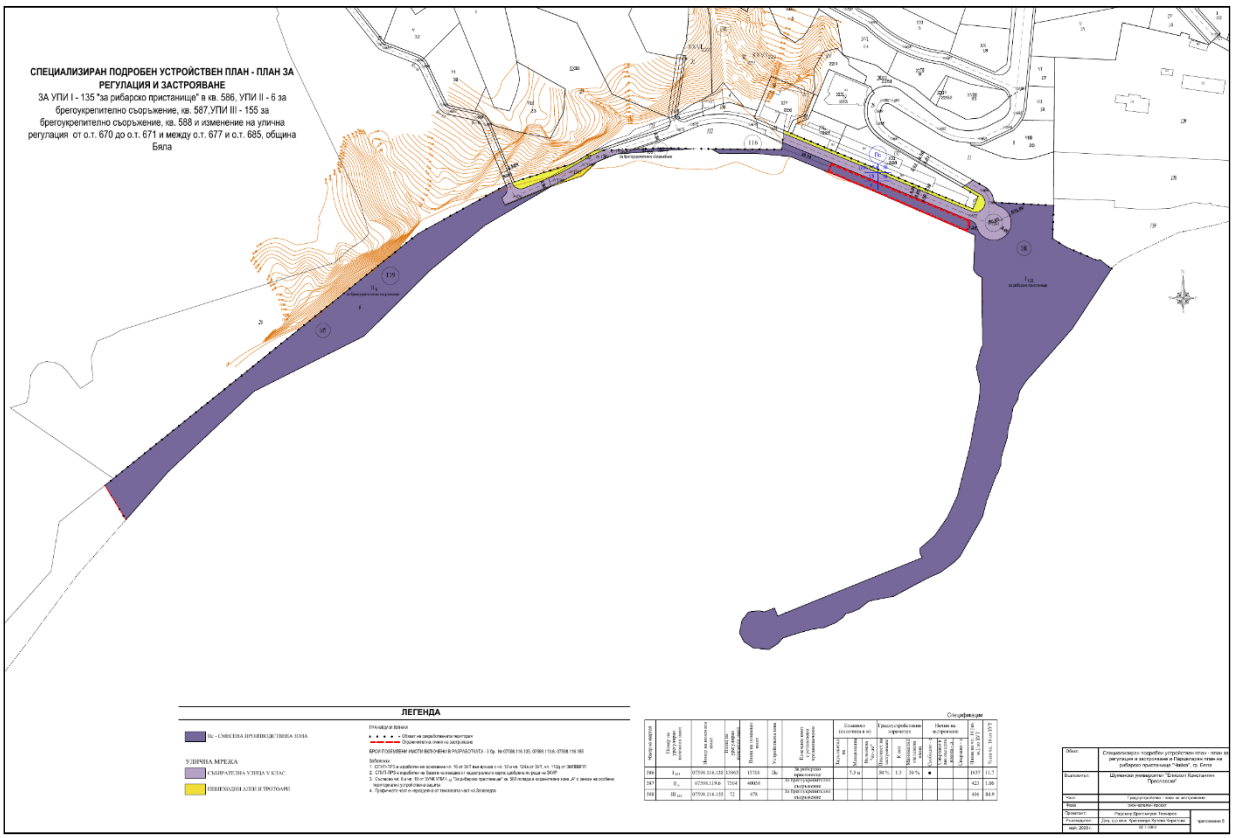
Фиг. 3. План за регулация на рибарско пристанище „Чайка“

Предложената регулационна структура обособява пристанищната функция и брегоукрепителните съоръжения в самостоятелни УПИ. Така се създава пространствена и правна основа за последващо инвестиционно проектиране, без да се прекъсва връзката между транспортния достъп, обслужващата територия и водната част.

Границите са определени така, че всяка основна функция да има ясно пространствено и правно основание. Пристанищният УПИ включва необходимата тилна територия, а имотите за брегоукрепителни съоръжения обхващат зоните, в които са допустими бъдещите инженерни намеси. Уличната регулация следва съществуващото трасе и осигурява достъп до новообразуваните имоти. Решението създава условия за поетапно реализиране, като запазва връзката между отделните части на комплекса и режимите на крайбрежната зона [4, 5, 8, 9].

4.2. План за застрояване и транспортно обслужване

За пристанищната територия е приета устройствена зона Пс - смесена производствена зона. Определени са плътност на застрояване до 50 %, коефициент на интензивност Кинт до 1,5, минимална озеленена площ 30 % и максимална височина 7,5 m при свободно застрояване. Показателите позволяват разполагане на обслужващи, технически и административни функции и едновременно ограничават натоварването на чувствителната крайбрежна среда [4, 10, 12].



Фиг. 4. План за застрояване на рибарско пристанище „Чайка“

Комуникационно-транспортната схема запазва съществуващото серпентинно трасе, което ограничава земните работи и се адаптира към наклонения терен. Предвидени са двулентови участъци с ширина 5,50-6,00 m, тротоари 1,50 m и кръгово обръщало за

обслужващи, аварийни и противопожарни автомобили. Радиусите на бордюрните криви са 6,00 m, а транспортен достъп е осигурен до всички прилежащи имоти.

Комбинирането на застрояването с транспортната схема предотвратява конфликт между обслужващите сгради, пешеходното движение и оперативните процеси. Тротоарните ивици могат да бъдат използвани и като коридори за бъдеща подземна техническа инфраструктура.

Организацията е съобразена с периодичното преминаване на товарни, аварийни и противопожарни автомобили, без да се допуска пресичане на основните оперативни площи. Обръщалото осигурява промяна на посоката в края на ограниченото трасе, а тротоарите отделят пешеходното движение от обслужващия транспорт. Запазването на серпентината следва естествените теренни форми и намалява риска от активизиране на ерозионни процеси по ската. Схемата е показана на фиг. 5 [4, 8, 12].



Фиг. 5. Комуникационно-транспортна схема на рибарско пристанище „Чайка“

4.3. Парцеларен план на акваторията

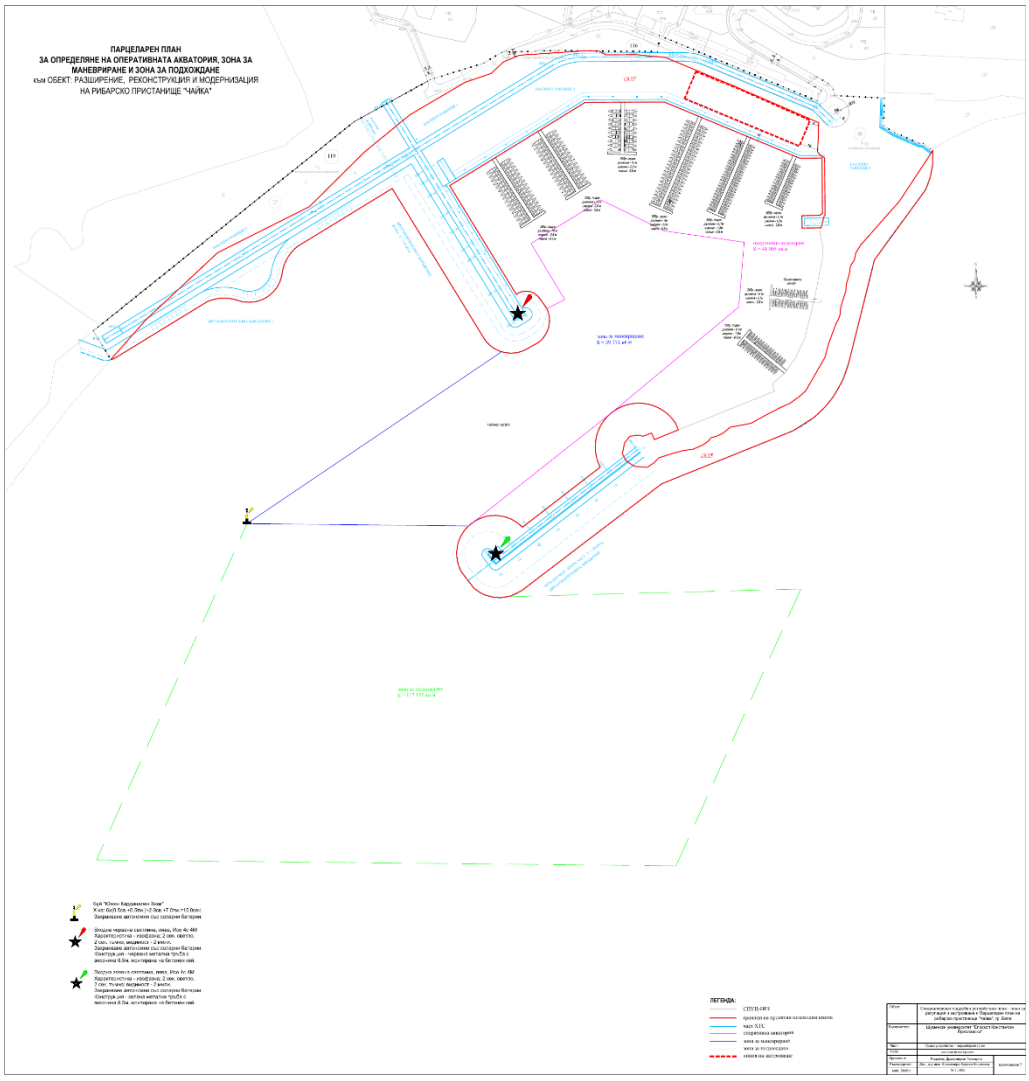
Парцеларният план определя границите и площите на оперативната акватория, зоната за маневриране и зоната за подхождане. Съгласно графичните приложения оперативната акватория е 41 005 m², зоната за маневриране - 39 771 m², а зоната за подхождане - 117 132 m². При оразмеряването са отчетени плавателни съдове с дължина до 10,99 m, ширина до 2,50 m и проектно газене до 0,80 m [3, 12].

Проектът предвижда удължаване на съществуващата буна със 150 m и изграждане на ново брегоукрепително съоръжение с дължина 210 m. Образуват се проектни имоти 07598.116.157 и 07598.116.158 в акваторията на Черно море. Запазва се един съществуващ

понтон и се добавят седем нови плаващи понтона, закрепени с мъртви котви. Предвидени са и два наклонени кея за спускане на рибарски лодки. Общият проектен капацитет е 264 лодкоместа.

Оперативната акватория обхваща зоните за приставане, домуване и непосредствено обслужване на лодките. Зоната за маневриране осигурява пространство за обръщане и промяна на курса, а зоната за подхождане свързва защитената вътрешна част с откритото море. Разположението на границите следва по-дълбоките участъци от батиметричния модел и избягва активното маневриране непосредствено до плитчините. Това ограничава риска от засядане и необходимостта от значителни драгажни работи.

При определяне на необходимите дълбочини са отчетени газенето на разчетния плавателен съд и запасите за безопасност, вълнение, диферент и бъдещо затлачване. Конфигурацията на входа и маневрените коридори е съгласувана с удължението на съществуващата буна и новото съоръжение, така че да се намали проникването на вълнова енергия и едновременно да се запази свободен подход. Предвидени са входни навигационни светлини с видимост 2 морски мили и южен кардинален знак за обозначаване на безопасната страна за преминаване [3, 10, 12].



Фиг. 6. Парцеларен план на акваторията на рибарско пристанище „Чайка“

Разположението на понтоните е съобразено с батиметричния модел и с необходимостта от свободни маневрени коридори. Площите и границите са координирани с проектните хидротехнически съоръжения и с кейовата линия, което позволява функционално разделяне на приставането, маневрирането и подхода към пристанището.

5 Анализ и обосновка на проектните решения

Основното предимство на проекта е проследимата връзка между измерените пространствени данни и устройствените решения. Геодезическото заснемане определя реалното положение на имотите, релефа и инфраструктурата, а хидрографското заснемане – подводния релеф и наличните дълбочини. На тази основа са обосновани регулацията, зоните за застрояване, транспортният достъп и организацията на акваторията.

Специализираната схема обединява сухоземната и водната част в една функционална система. Удължаването на буната и новото брегоукрепително съоръжение са насочени към подобряване на защитата на вътрешната акватория, а понтонната система повишава капацитета и позволява адаптиране към различни категории малки плавателни съдове.

От устройствена гледна точка обособяването на самостоятелни имоти за пристанищната територия и за брегоукрепителните съоръжения улеснява последващото проектиране и управление. Компактното застрояване е насочено към ограничените равнинни участъци, докато стръмните склонове се запазват извън зоните на интензивна намеса. Приетите показатели осигуряват достатъчен капацитет за обслужващи и административни функции, без да се допуска прекомерно натоварване на крайбрежната среда.

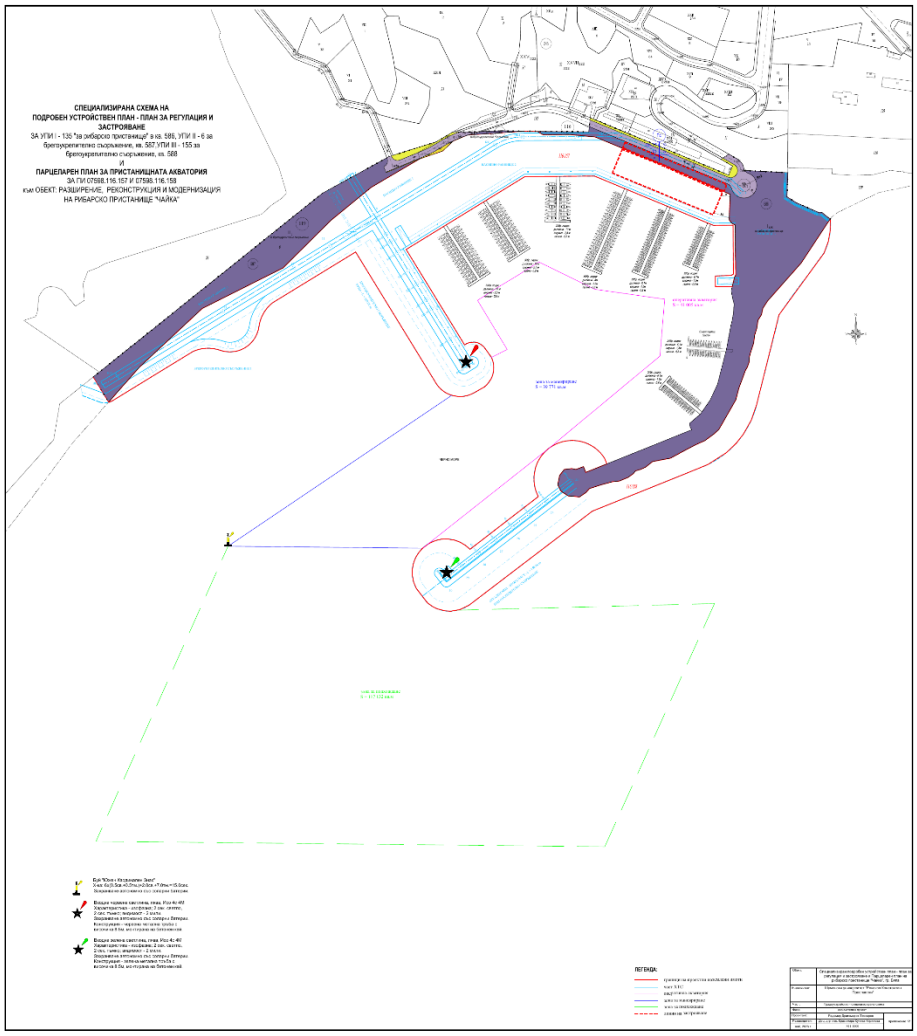
Транспортното решение представлява компромис между нормативните изисквания, експлоатационните нужди и възможностите на терена. Ново трасе с по-малък наклон би изисквало значителни изкопи, подпорни съоръжения и отчуждения. Използването на съществуващата серпентина ограничава тези намеси, а предвидените ширини, тротоари и обръщало осигуряват обслужване на пристанището и достъп при аварийни ситуации. Така транспортната схема е неразделна част от общото решение, а не самостоятелен инфраструктурен елемент.

Хидрографският анализ показва, че защитените зони зад буната са подходящи за понтонни съоръжения, но могат да бъдат подложени на постепенно натрупване на наноси. Поради това експлоатацията следва да включва периодични контролни заснемания и наблюдение на дълбочините. Плаващите понтони, закрепени с мъртви котви, дават възможност за преместване и пренареждане при промяна на дънния релеф или състава на обслужваните лодки. Това увеличава адаптивността на пристанището и намалява необходимостта от масивни стационарни конструкции.

Вълнозащитната функция на съществуващата и новопроектираната буна е определяща за безопасността на вътрешната акватория. Предложената конфигурация създава по-спокойна зона за приставане, но окончателните конструктивни параметри трябва да бъдат доказани чрез специализирано моделиране на вълновия режим, теченията и наносния транспорт. На устройствено ниво са резервирани необходимите площи и направления, а следващата фаза следва да конкретизира конструкцията, котите и последователността на изграждане.

Проектната оценка следва да се разглежда в границите на устройствената фаза. Преди инвестиционно проектиране са необходими детайлни геотехнически и конструктивни изследвания, актуализация на хидрографските данни и изследване на вълновия режим и

наносния транспорт. Тези последващи проучвания не отменят устройственото решение, а прецизират параметрите на отделните съоръжения и експлоатационните запаси.



Фиг. 7. Специализирана схема на рибарско пристанище „Чайка“

6 Заключение

Разработеният СПУП-ПРЗ и парцеларен план създават координирана устройствена рамка за развитие на рибарско пристанище „Чайка“. Чрез единна координатна и височинна основа са интегрирани кадастралната информация, ситуационното заснемане и батиметричните данни. Това позволява проектните граници, транспортното обслужване и функционалните зони на акваторията да бъдат определени спрямо реалните теренни и хидрографски условия.

Проектът осигурява условия за увеличаване на капацитета до 264 лодкоместа, по-добра организация на водното пространство и последваща модернизация на пристанищната инфраструктура. Получените резултати потвърждават, че при пристанищни обекти геодезията, хидрографията и устройственото планиране трябва да се прилагат като взаимно свързани части на един общ проектен процес.

Разработката има практическа стойност и като цифрова база за следващите проектни фази. Координатните регистри, моделът на терена, батиметричната повърхнина и специализираната схема могат да бъдат актуализирани при нови измервания и използвани за контрол на строителството и експлоатационен мониторинг. По този начин устройственото планиране се превръща в основа за последователно управление на територията и акваторията, а не само в еднократен административен документ.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Добрев, С. Проблеми при поддържането актуалността на кадастралната карта в крайбрежните райони. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2022, с. 211–214. ISSN 1314-3921.

[2] Закон за кадастъра и имотния регистър (ЗКИР). ДВ, бр. 34 от 25.04.2000 г., посл. изм. и доп.

[3] Закон за морските пространства, вътрешните водни пътища и пристанищата на Република България. ДВ, бр. 12 от 11.02.2000 г., посл. изм. и доп.

[4] Закон за устройство на територията (ЗУТ). ДВ, бр. 1 от 02.01.2001 г., посл. изм. и доп.

[5] Закон за устройството на Черноморското крайбрежие (ЗУЧК). ДВ, бр. 48 от 15.06.2007 г., посл. изм. и доп.

[6] Иванов, И. Георефериране на едромащабни карти и планове в произволна координатна система. Списание „Геодезия, картография, земеустройство“, 2026, бр. 3–4, с. 3–10. ISSN 0324-1610.

[7] Иванов, И. Проблемът кадастър и регулация – изменение на кадастралната карта чрез използване на графични материали. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2022, с. 258–264. ISSN 1314-3921.

[8] Наредба № 7 от 22.12.2003 г. за правила и нормативи за устройство на отделните видове територии и устройствени зони. ДВ, бр. 3 от 13.01.2004 г., посл. изм. и доп.

[9] Наредба № 8 от 14.06.2001 г. за обема и съдържанието на устройствените планове. ДВ, бр. 57 от 26.06.2001 г., посл. изм. и доп.

[10] Наредба № 10 от 31.03.2014 г. за обхвата и съдържанието, изработването, одобряването и изменението на генералните планове на пристанищата за обществен транспорт. ДВ, бр. 35 от 18.04.2014 г., посл. изм. и доп.

[11] Наредба № РД-02-20-5 от 15.12.2016 г. за съдържанието, създаването и поддържането на кадастралната карта и кадастралните регистри. ДВ, бр. 4 от 13.01.2017 г., посл. изм. и доп.

[12] Стойчева, Ж. Подробен устройствен план (ПУП). Методи, изготвяне и процедиране. Практическо ръководство за проектанти. Второ допълнено издание. София, 2021.

[13] Dimanova, D. “Geographical Information Systems and Their Application in Various Fields.” Journal Scientific and Applied Research, Vol. 27, No. 1, 2024, pp. 90–96. DOI: 10.46687/jsar.v27i1.409.

[14] Ivanov, S. “Interpolation of Raster Surfaces (Grid Interpolation). The Kriging Method.” Journal Scientific and Applied Research, Vol. 28, No. 1, 2025, pp. 7–15. DOI: 10.46687/jsar.v28i1.419.

[15] Stoykov, E. “Hydrographie Acoustic Systems – Measurement Principles.” Journal Scientific and Applied Research, Vol. 24, No. 1, 2023, pp. 32–37. DOI: 10.46687/jsar.v24i1.365.

[16] Yanchev, K. “Selection of Appropriate Geodetic Equipment for Reception of GNSS Signals When Conducting High-Precision Measurements.” Journal Scientific and Applied Research, Vol. 18, No. 1, 2020, pp. 72–76. DOI: 10.46687/jsar.v18i1.281.

TECHNOLOGICAL, HISTORICAL, AND REGULATORY ASPECTS IN THE DIGITALIZATION OF CADASTRAL AND REGULATORY PLANS*

NIGYAR H. YANKOVA

ABSTRACT: *The digital transformation of existing cadastral and regulatory plans represents a critical intersection between historical cartography, modern geomatics and the current regulatory framework. This report provides an expert analysis of the conceptual, mathematical and regulatory paradigms governing the digitization of large-scale graphic plans in Bulgaria. The evolution of cadastral legislation from the post-liberation era to modern geodetic systems is traced, systematically assessing the classical coordinate frames (BGS30, BGS50, KS70) and their inherent transformation challenges compared to the modern BGS2005.*

Furthermore, the analysis examines the technical mechanisms of digitization, covering optical scanning technologies (CCD vs. CIS), geometric transformations (affine, polynomial, spline, Delaunay triangulation) and algorithms for resampling raster images. Based on the synthesis made, the conclusion is drawn that precise vectorization and georeferencing of analog archives are not just a technical necessity, but a fundamental prerequisite for ensuring legal certainty, protecting property rights and facilitating sustainable investment design and land management.

KEYWORDS: *digitization, cadastral plans, regulation plans, georeferencing, spatial planning, BGS2005, geometric transformations, vectorization*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26NHY

ТЕХНОЛОГИЧНИ, ИСТОРИЧЕСКИ И НОРМАТИВНИ АСПЕКТИ ПРИ ДИГИТАЛИЗИРАНЕТО НА КАДАСТРАЛНИ И РЕГУЛАЦИОННИ ПЛАНОВЕ

НИГЯР Х. ЯНКОВА

АБСТРАКТ: *Дигиталната трансформация на съществуващи кадастрални и регулационни планове представлява критична пресечна точка между историческата картография, съвременната геоматика и действащата нормативна уредба. Настоящият доклад предоставя експертен анализ на концептуалните, математическите и регулаторните парадигми, управляващи дигитализирането на едромащабни графични планове в България. Проследява се еволюцията на кадастралното законодателство от следосвобожденската епоха до съвременните геодезически системи, като систематично се оценяват класическите координатни рамки (БГС30, БГС50, КС70) и присъщите им трансформационни предизвикателства спрямо съвременната БГС2005.*

Освен това анализът разглежда техническите механизми на дигитализирането, обхващайки технологиите за оптично сканиране (CCD спрямо CIS), геометричните трансформации (афинна, полиномна, сплайн, триангулация на Делоне) и алгоритмите за повторно семплиране на растерни изображения. Въз основа на направения синтез се извежда заключението, че прецизната векторизация и георефериране на аналогови архиви не са просто техническа необходимост, а фундаментална предпоставка за гарантиране на правната сигурност, защита на вещните права и улесняване на устойчивото инвестиционно проектиране и земеустройство.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

1 Нормативна уредба

Развитието на кадастралната и регулационната система в България е пряко отражение на обществено-икономическите и политическите промени в страната. Необходимостта от точен опис на поземлената собственост възниква непосредствено след Освобождението, като още в Органическия устав на Източна Румелия от 14 април 1879 г. (глава 14 „Устройство на поземлената собственост“) изрично се предвижда създаването на законопроекти за устройство на собствеността и изготвянето на опис, който да послужи като фундамент за първия регионален кадастър [12].

Историческият преглед на нормативната уредба разкрива поредица от законодателни инициативи, които формират основата на съвременното устройство на територията и обуславят настоящата необходимост от прецизно дигитализиране на наследените графични материали. Първоначалните опити за създаване на всеобхватен кадастър, като Закона за кадастъра на Източна Румелия (1880 г.) и впоследствие общонационалния Закон за кадастъра (1908 г.), остават предимно неприложени поради комплексни причини: неопределеното състояние на собствеността, бурните политически събития, липсата на бюджетни средства и критичният недостиг на специалисти [12]. Въпреки тези затруднения, през 1903-1904 г. правителството предприема базови измервания, водещи до въвеждането на общинските емлячни книги. Едва с приемането на Закона за кадастър и комасация от 1941 г. се установява системен ред в геодезическите измервания, поставяйки началото на истински специализиран кадастър [12].

След средата на XX век концепцията за кадастър претърпява еволюция, подчинена на централизираната държава, при която кадастралната дейност е пренебрегната за сметка на градоустройството. Приемането на Закона за планово изграждане на населените места (ЗПИНМ, 1949 г.) и последвалия го Закон за териториалното и селищно устройство (ЗТСУ, 1973 г.) дефинира строги правила за създаването на регулационни планове [10, 12]. Графичните планове от този период често са изработвани в различни локални координатни системи, което днес води до натрупване на грешки при трансформирането им и затруднява прецизното прилагане на уличната регулация [4]. Въпреки това, те продължават да бъдат основен източник на данни за стари вещни права и приложени регулации, правейки дигитализирането им критично важно. Успоредно с това, опитът за създаване на многофункционален кадастър чрез Закона за единния кадастър на НРБ (ЗЕКНРБ, 1979-2000 г.) поставя неосъществима за времето си цел поради невъзможността за събиране и обработка на огромния обем данни с наличните аналогови технологии [12].

Възстановяването на частната собственост след 1990 г. бележи нов етап, регулиран чрез реституционни закони (ЗСПЗЗ и ЗВСГЗГФ). Поради съкратените срокове, плановете за земеразделяне (КВС) се създават основно от стари топографски карти без нови измервания, което генерира значителни пространствени конфликти днес в контактните зони с урбанизираните територии.

Съвременният етап започва със Закона за кадастъра и имотния регистър (ЗКИР, 2001 г.) и Закона за устройство на територията (ЗУТ, 2001 г.), които преминават изцяло към цифров модел. Ключов акт е Наредба № РД-02-20-5 от 2016 г., която въвежда стриктен контрол: оценка на актуалността на съществуващите графични планове чрез проверка на минимум 25% от територията и изискване за коефициент на актуалност над 0,6 [11, 13]. Проверява се и геометричната точност, като минимум 80% от точките трябва да отговарят на нормативните допуски [11, 13]. В професионалните среди често се дискутират противоречията около изискването за тези мащабни оценки при дигитализиране на малки извадки за текущо поддържане [3].

2 Видове координатни и референтни системи, използвани за графични планове и карти в България

Геореферирането на съществуващи аналогови планове е фундаментално невъзможно без дълбоко разбиране на математическите закони, геодезическите датуми и картографските проекции, приложени при тяхното създаване [3]. Територията на България е картографирана в няколко различни национални координатни системи, всяка със своите специфични референтни елипсоиди и проекционни деформации. Правилната идентификация на изходната координатна система е първата и най-важна стъпка към успешната интеграция на данните [3].

3.1. Българска геодезическа система 1930 г. (БГС30)

„Българска геодезическа система 1930“ (БГС30) е дефинирана върху международния елипсоид на Хейфорд в Гаус-Крюгерова проекция, реализирана чрез две триградусови ивици с основни меридиани 24° и 27°. Мащабът по основния меридиан е $\mu_0 = 0{,}9999$ [3]. За да се получат само положителни стойности на ординатите (Y), към тях е прибавена константата $Y_0 = n \times 10^6 + 500000$ m. В БГС30 са издадени множество първични кадастрални планове, които и до днес служат като доказателствен материал за стари граници [3].

3.2. Българска геодезическа система 1950 г. (БГС50)

Въведена с цел съгласуване със страните от Съветския блок, БГС50 представлява трансформационен аналог на БГС30, при който елипсоидът на Хейфорд е заменен с този на Красовски. Мащабът по основния меридиан в Гаус-Крюгеровата проекция е променен на $\mu_0 = 1{,}0000$. БГС50 е в основата на огромно количество планове за граждански цели от периода 1950-1970 г. [3].

3.3. Координатна система 1970 г. (КС70)

КС70 се базира на точките от Държавната геодезическа мрежа на БГС50, но използва конформна конична проекция (мащаб $\mu_0 = 1{,}0000$) и разделя страната на четири независими контактни зони: К3, К5, К7 и К9. Избрани са фиктивни централни точки и ъгли на завъртане. Изследванията доказват, че абсолютната точност при трансформиране от КС70 към съвременната БГС2005 рядко е по-висока от 30 cm, което налага извършването на контролни измервания за локално коригиране на модела [3].

3.4. Българска геодезическа система 2005 (БГС2005)

Официално въведена през 2010 г., БГС2005 се дефинира върху международния елипсоид GRS80 и е свързана с Европейската земна референтна система (ETRS89) [7]. За едромащабни кадастрални приложения се дефинира Кадастрална координатна система 2005 на базата на Ламбертова конична конформна проекция [6].

3.5. Произволни (локални) координатни системи

В геодезическата практика често се срещат планове или фрагменти от архивни скици, върху които липсва изчертана дециметрова координатна мрежа (кръстове), нито е указана координатната система. Тези графики се приемат за създадени в произволна (локална) система. При тях геометрията на обектите (ъгли и пропорции) е запазена, но отсъства мащаб и пространствена ориентация. Геореферирането на подобни изображения представлява значително предизвикателство, изискващо идентифициране на запазени на терена контури и провеждане на емпирични полски измервания, както и използването на сателитни ортофотопланове или портали като КАИС и Google Earth за извеждане на приблизителни трансформационни координати [21, 23, 24].

3 Практическо приложение на графичните планове

Графичните планове не са просто архивен фонд; те са активни юридически и технически документи. Цифровата им трансформация обслужва четири основни сфери: устройствено планиране, инвестиционно проектиране, кадастър и земеустройство.

3.1. Устройствено планиране

Подробни устройствени планове (ПУП – ПРЗ) са ключов механизъм за инвестиционни намерения [1]. Процесът включва предварително проучване в КАИС, съгласуване с електроразпределителните дружества, ВиК операторите, РЗИ и РИОСВ, както и процедури по ЗОЗЗ [10]. Според ЗУТ, изработването на нови ПУП изисква безупречна кадастрална основа. Липсата на точен математически дигитален аналог на старата регулационна линия създава значителен риск от ощетяване на собствениците при отнемане на площи за обществени нужди.

3.2. Инвестиционно проектиране

Графичните планове са незаменим източник на данни за локализиране на подземния кадастър. Инженерните геодезисти използват исторически изработвани планове върху полиестерна материя (милинекс) в мащаби 1:500 за установяване на съществуващи мрежи. При издаване на виза за проектиране е задължително намерението да се впише в съществуващите сервитути [10]. Допълнително, дигитализираните карти могат да се интегрират с лазерно сканиране и фотограметрия от безпилотни летателни апарати (БЛА) за 3D компютърно моделиране и опазване на културното наследство, създавайки точни виртуални модели на урбанизирани среди [8].

3.3. Кадастър и земеустройство

Реституционните процеси след 1990 г. целяха възстановяване на собствеността, като за целта се използваха директно стари аерофотопланове и едромащабни топографски карти. Днес се констатират хиляди пространствени конфликти в контактните зони (на границата между териториите с възстановена собственост и старите регулационни планове). При установяване на явна фактическа грешка законодателството предвижда корекция, ако пространственото отклонение надвишава нормативните допуски [11]. Подобни несъответствия се срещат предимно при линейни обекти в контактните зони, тъй като плановете за възстановена собственост са създавани директно по стари източници без повторни преки геодезически измервания [15]. Отстраняването на тези грешки изисква преки контролни геодезически измервания на трайни топографски обекти и изготвяне на проект за корекция, обхващащ всички засегнати имоти [15].

Поддържането на съвременната Кадастрална карта и кадастрални регистри (КККР) в актуално състояние е непрекъснат процес. Според чл. 51, ал. 1 от ЗКИР, изменения в КККР се извършват при отстраняване на непълноти и грешки или при отразяване на нови обекти. Изменението на КККР се реализира въз основа на проект от правоспособно лице, включващ нови геодезически измервания на място за отразяване на съществуващите и новите обекти [14]. Изработването на комбинирани скици за доказване на правото на собственост изисква прецизно сканиране, георефериране и векторизиране на аналоговия план [3, 11].

4 Технологични етапи и методи за дигитализация на графични планове

Над 97% от територията на страната вече е покрита с цифрови кадастрални данни. Хартиените носители са подложени на непрекъсната амортизация [20]. Унищожаването на

графиката води до загуба на идентичност на имотни права, доказуеми само чрез геометрична съпоставка, както и до загуба на историческа информация за релефа.

4.1. Методи за сканиране и формиране на цифровото изображение

Сканирането е процес на дискретизация и квантуване [18, 22]. Качеството зависи критично от технологията. Изследванията доказват превъзходството на CCD (Charge Coupled Device) скенерите пред CIS (Contact Image Sensor) сензорите [22]. CCD технологията осигурява дълбочина на рязкост над 9 mm, преодолявайки неравни или прегънати повърхности, докато CIS сензорите (с дълбочина около 1 mm) генерират силни оптични аберации и размазване, ако планът не е идеално прилепнал [22]. Оптималната разделителна способност за запазване на нормативната дебелина на имотната граница (0,12 mm) се изчислява чрез формулата:

$$dpi = \frac{1{,}5.QI}{0{,}039\ .w}, \quad (1)$$

където **QI** е качествен индекс, а **w** е най-тънката линия в mm. Индексът на качество (QI) варира по скала от неприемливо (<1,0) до отлично (=2,0) [20]. Това налага използването на резолюция между 600 и 650 dpi [20, 22].

Форматът на запис и компресията са също толкова критични. В таблица 1 са обобщени най-често използваните формати и техните характеристики.

Таблица 1

Формат	Компресия	Характеристика и приложимост за кадастрални планове
TIFF (GeoTIFF)	Без загуби (LZW)	**Оптимален стандарт.** Запазва всички пиксели, поддържа метаданни за georeferиране. Използва се за дълготрайно архивиране.
JPEG	Със загуби	**Непрепоръчителен.** Създава артефакти и „шум" около финитe черни линии. Деградира качеството при всяко следващо презаписване.
PNG	Без загуби	Подходящ за web-ГИС платформи, но често губи мащаба (dpi) при печат.
PDF	Смесена	Консумира значителен ресурс на оперативната памет при изображения с висока резолюция, което може да доведе до критични софтуерни грешки (Out of memory) и затруднява импортирането в CAD среда.

4.2. Georeferиране (Математически трансформации)

Прилагат се двуизмерни трансформационни модели, базирани на контролни точки [3, 9]. По-долу са обобщени основните видове трансформации, използвани при georeferиране на растерни изображения:

- **Хелмертова трансформация:** Конформна трансформация с изотропен мащабен коефициент, която генерира неприемливи грешки при неравномерно разтеглена хартия [9, 25].
- **Афинна трансформация:** Полином от 1-ва степен (6 параметъра), който е

изключително стабилен и предвидим в зоните на екстраполация (периферията на плана) [9, 25].

- **Полиномни трансформации (2-ра и 3-та степен):** Докато 2-рата степен е прецизна локално, 3-тата създава ефект на осцилация (Runge's phenomenon) извън обхвата на контролните точки [17].
- **Сплайн трансформация (Thin Plate Splines - TPS):** Метод на „гумения лист", оптимален метод при локални деформации на силно амортизирани платна, тъй като деформира растерната повърхнина точно през зададените точки [9, 25].

4.3. Алгоритми за повторно семплиране (Resampling)

Когато растерната матрица се „разтегне" или „огъне" от трансформацията, центърът на новите пиксели попада между старите пиксели. Алгоритмите за повторно семплиране изчисляват какъв цвят/интензитет да бъде присвоен на новия пиксел. В таблица 2 са сравнени най-често използваните методи за повторно семплиране.

Таблица 2

Метод на семплиране	Математически принцип	Влияние върху кадастрални планове
Най-близък съсед (Nearest Neighbor)	Присвоява стойността на най-близкия съседен пиксел.	**Препоръчителен.** Не променя цветовете. Запазва бинарния контраст (черно/бяло), критичен за прецизна векторизация. Създава леко визуално „назъбване".
Билинейна интерполация	Осреднява 4 съседни пиксела.	Създава изкуствени сиви полутонове. Размива (замъглява) фините граници на имотите. Не се препоръчва за чертежи.
Бикубична интерполация	Изчислява кубична конволюция от 16 съседни пиксела.	Дава гладки изображения, но генерира „ореоли" (overshoot) около черните линии на бял фон, което затруднява векторизирането.
Ланцош (Lanczos)	Използва функция $\mathrm{sinc}(x)$.	Висококачествен фотографски филтър, но абсолютно неподходящ за висококонтрастни карти поради ефекта на трептене (ringing).

4.4. Векторизиране на съдържанието

Последният етап от дигитализирането е векторизацията – преобразуването на пикселите в математически дефинирани точки, полилинии и полигони (векторен CAD/ГИС формат).[1] Този процес не е просто „пречертаване", а изграждане на сложна пространствена топология.

Правилата за дигитализиране са строги, за да се избегнат системни грешки, които биха компрометирали последващия пространствен анализ. Графичните грешки (топологични конфликти) се категоризират основно като:

- **Висящи възли (Dangling nodes):** Получават се, когато краят на една дигитализирана линия не „прихване" (snap) точно пресичащата я линия. Резултатът са недостигащи линии (undershoots) или пресичащи линии (overshoots), които правят невъзможно затварянето на полигона на поземления имот.
- **Псевдовъзли (Pseudo nodes):** Излишно разделяне на една непрекъсната права линия от две точки (възли), което усложнява базата данни.
- **Сливър полигони (Slivers):** При дигитализиране на обща граница между два съседни имота, линията не трябва да се векторизира два пъти. Повторното ѝ изчертаване почти винаги създава микроскопични, невалидни полигони между двете линии [5, 19].

Освен геометрични, в процеса се допускат и *атрибутни грешки*. Вкарването на неправилен код за Начин на трайно ползване (НТП) или вид територия (например кодиране на земеделска земя като урбанизирана територия) води до грешна визуална симвология в ГИС и юридическа недействителност на дигиталния модел. Предотвратяването на тези грешки изисква използването на специализиран софтуер за проверка на топологията преди финалното импортиране на данните в националните бази [16].

5 Заключение

Концепцията за дигитализиране на съществуващи кадастрални и регулационни планове обхваща изключително сложен конгломерат от процеси, които далеч надхвърлят повърхностно прехвърляне на хартиени чертежи на компютърен екран. Както детайлният анализ на сферите на приложение категорично доказва, тези архивни материали представляват фундаментален правен, исторически и пространствен архив за националната територия. В условията на непрекъсната физическа амортизация на аналоговите носители, дигитализирането е единственият механизъм за консервация и защита на вещните права.

Технологичните аспекти – от избора на технология за сканиране до прилагането на TPS или афинни трансформации – доказват, че георефернрането е строга математическа процедура, недопускаща компромиси с точността. Дълбокото познаване на историческите координатни системи (БГС30, БГС50, КС70) е абсолютно критично за правилното им интегриране в съвременната БГС2005. Прилагането на адекватни алгоритми за повторно семплиране и спазването на строги топологични правила при векторизацията са ключови за избягване на юридически и проектантски грешки. В този контекст, геодезията функционира като строго регулирана професия, изискваща комплексни компетенции и правоспособности, което е гарант за качеството на извършваните дейности [2]. В крайна сметка, синергията между усъвършенстваната нормативна рамка и съвременните технологии гарантира, че дигиталните масиви ще продължат да служат като надеждна, математически точна основа за устойчивото управление на поземлената собственост.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Атанасова, С. и К. Кирилова. Investigating the connection between investment intentions and land status. Journal Scientific and Applied Research, 2024, vol. 27. ISSN 1314-6289. DOI: https://doi.org/10.46687/jsar.v27i1.40.

[2] Иванов, И. Геодезията – двойно регулирана професия с тройно членство. E-Journal VFU, 2025, бр. 23, с. 416–428. Available from: https://doi.org/10.53606/evfu.23.416-428. ISSN 1313-7514.

[3] Иванов, И. Георефериране на едромащабни картни и планови изображения. Шумен, Университетско издателство „Епископ Константин Преславски", 2026,173с.

[4] ISBN:978-619-201-929-7.

[5] Иванов, И. Проблемът кадастър и регулация – изменение на кадастралната карта чрез използване на графични материали. MATTEX 2022: Сборник научни трудове. Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, с. 258-264. ISSN: 1314-3921.

[6] Иванов, С. Правила при дигитализиране. MATTEX 2020: Сборник научни трудове. Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, с. 266-270. ISSN: 1314-3921.

[7] Инструкция № РД-02-20-12 от 03 август 2012 г. за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“ - обн. ДВ. бр.63 от 17 август 2012 г.

[8] Йовев, И. GPS – Технологиите и създаване на условия за тяхното ефективно приложение в България. Списание ГЕОграфия'2, 2007, бр. 4 (продължение в бр. 5), стр. 3-10. ISSN - 1312-6628.

[9] Кирилова, К., Янчев, К. Предефиниране на възможностите на безпилотната летателна система за нуждите на кадастъра. MATTEX 2020: Сборник научни трудове. Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, с. 255-261, ISSN 1314-3921.

[10] Методиев, К. 2012. Методи за калибриране на растерни изображения. Списание „Геомедия“, ISSN: 1313-3365. URL - https://www.geomedia.bg/geodesia/metodi-za-kalibrirane-na-rasterni-izo/.

[11] Милев, Г., Милев И. Приложна геодезия Част 1, Инженерна геодезия. Книга 2. Проектиране и приложение на устройствените и на генералните планове. СГЗБ. „Авангард“. 2017. 330 стр. (книга 2). ISBN: 978-619-90732-1-6.

[12] Наредба № РД-02-20-5 от 15 декември 2016 г. За съдържанието, създаването и поддържането на кадастралната карта и регистри - обн. ДВ. бр.4 от 13 януари 2017 г.

[13] Ниязи-Юсуф, М. История нормативната уредба в областта на кадастъра. Том X Е, Шумен, Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, ISSN: 1311-834X, стр. 163-177.

[14] Ниязи-Юсуф, М. Оценка на актуалността на съдържанието и точността на действащите кадастрални планове", Годишник: Технически науки. Том XI Е, Шумен, Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, ISSN: 1311-834X, стр. 59-62.

[15] Niyazi-Yusuf, M., Stoykov, E. Maintenance of the cadastral map and cadas-tral registers in current state. Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies” DefTech 2023, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, “Vasil Levski” National Military University, Shumen, 2023, ISSN 2815-4282, p. 652-659.

[16] Niyazi-Yusuf, M., Kirilova, K., Yanchev, K., „Determination of an obvious factual error in a cadastral map”, Journal scientific and applied research, Vol. 26 (2024), Konstantin Preslavsky University Press, Shumen, ISSN: 1314-6289, p 19-26, EBSCO, USA.

[17] Стойков, Е., Горов, С. Същност и предназначение на CAD-системите. Хардуер и софтуер на CAD системата. MATTEX 2022: Сборник научни трудове. Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, стр. 253–257, ISSN 1314-3921. 2022 г.

[18] Brovelli, Maria & Minghini, Marco. (2012). Georeferencing old maps: a polynomial-based approach for Como historical cadastres. e-Perimetron. Vol. 7. 97–110. ISSN: 1790-3769.

[19] Chiang, Yao-Yi & Leyk, Stefan & Knoblock, Craig. (2014). A Survey of Digital Map Processing Techniques. ACM Computing Surveys. Vol. 47., p. 1–44, ISSN: 0360-0300. doi: 10.1145/25.

[20] Ivanov, S. SPATIAL DATA MODELS. Journal Scientific and Applied Research. Vol. 20, 2021 p. 40–46. ISSN 1314-6289. doi:10.46687/jsar.v20i1.303.

[21] Malaperdas, G. (2021). Standards for Digitization in Cases of Maps, Documents, and other Relics in the Service of Cultural Heritage. Trends Journal of Sciences Research. 1. 24–32. 10.31586/ojer.2021.99. ISSN: 2377-8083 (Online).

[22] Nwilo, Peter & Okolie, Chukwuma & Onyegbula, Johanson & Arungwa, Ikenna & Ayoade, Owolabi & Daramola, Olagoke & Orji, Michael & Uyo, Imeime. (2022). Positional Accuracy Assessment of Historical

Google Earth Imagery. Applied Geomatics (2022) 14:545–568. ISSN: 1866-9298 https://doi.org/10.1007/s12518-022-00449-9.

[23] Scanning and vectorising old mine drawings and maps – Part 2: Scanning. URL - https://global.micromine.com/scanning-and-vectorising-old-mine-drawings-and-maps-part-2-scanning/.

[24] Wang, X. W. and Wang, F.: THE PRECISION OF GOOGLE EARTH MAP ANALYSIS WITH THE COORDINATES OF IGS STATIONS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-3/W10, 1053–1056, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-1053-2020, 2020.

[25] Wirth, J., Bonugli, E., and Freund, M. Assessment of the Accuracy of Google Earth Imagery for Use as a Tool in Accident Reconstruction, SAE Technical Paper 2015-01-1435, 2015, doi:10.4271/2015-01-1435.

[26] Zakarneh, H., Zakarneh, G. Evaluating the Accuracy of Georeferencing Methods for Cadastral Block Sheets in Jenin-District Using GNSS Hebron - Palestine. 2021. ResearchGate, www.researchgate.net/publication/348522121.

MAPPING OF TERRAINS SUBJECTED TO EROSION SOIL PROCESSES*

NIKOLAY PL. ZHELYAZKOV, EVGENI GR. STOYKOV

ABSTRACT: *For the establishment and analysis of erosion, cyclic and systematized observation is necessary, one of the methods is through geodetic measurements. They can be in a wide range of methods - both classical and modern. The report discusses close-range photogrammetry with GCP (Ground Control Point) with certain coordinates, by measurement with GNSS in RTK mode.*

KEYWORDS: *photogrammetry, GNSS, erosion*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26NPZ

КАРТИРАНЕ НА ТЕРЕНИ, ПОДЛОЖЕНИ НА ЕРОЗИОННИ ПОЧВЕНИ ПРОЦЕСИ

НИКОЛАЙ ПЛ. ЖЕЛЯЗКОВ, ЕВГЕНИ ГР. СТОЙКОВ

АБСТРАКТ: *За установяване и анализ на ерозия е необходимо циклично и систематизирано наблюдение като един от способите е посредством геодезически измервания. Те могат да бъдат в широк спектър от методи - както класически, така и съвременни. В доклада се разглежда близкообхватна фотограметрия с GCP (Ground Control Point) с определени координати, чрез измерване с ГНСС в РТК режим.*

1 Въведение

Деструктивните геоморфологични процеси, повлияни от изменението на климата в съвременния свят, представляват сериозен риск за околната среда и стопанската дейност. Те водят до ускорена седиментация на водните басейни и загуба на плодородни почви. При анализа на водната ерозия значение имат и характеристиките на валежите. Статистически модел на тяхната интензивност в Шуменския регион е предложен в [11]. При по-интензивни промени са опасни и за инфраструктурните обекти, когато говорим за свлачища, срутища и сипеи [5].

За управление на природните ресурси е необходимо да познаваме и анализираме природните процеси във времето, чрез циклично и методично наблюдение и измерване. В контекста на това могат да се изследват с геодезически способи всички динамични процеси по и около земната повърхност, които имат числова измеримост – премествания, интензитет, разширение, свиване, скорост и т.н.. Такива процеси могат да бъдат: приливи, отливи, свлачища, срутища, поражения от пожари, ерозия и пр. [1], [3], [4].

В доклада ще разгледаме основните положения при реално приложение на близкообхватен фотограметричен способ за определяне на площта на ерозията, чрез безпилотен летателен апарат /БЛА/ от клас С0 с наземни контролни точки (GCP) [3], [4], [6].

Ползвайки БЛА фотограметрия можем да изготвим ортофотомозайка с достатъчна точност, за да имаме възможност да определим контурите на всеки участък с ясни

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

ерозионни процеси. Този метод служи като ранна диагностика на деструктивни геоморфологични процеси [3], [4], [6], [7], [8].

По този способ заснемаме ерозионни процеси, като се извършва облитане на ниска височина от порядъка на 20 до 120 м., чрез което определяме пространственото положение на обекта, площта, периметъра, степента на разчлененост и развитие към момента на изготвяне на ортофотомозайката. Полученото изображение се използва за картографско представяне на засегнатите територии [2], [3], [4].

Картирането на засегнати площи е ключов елемент в защитата на земеделски земи, пасища, мери и запазване на естествения ландшафт. Чрез ранно откриване на ерозионни процеси, се дава възможност за вземане на мерки като залесяване, укрепване на скатове, терасиране, подходяща обработка, смяна на вида на посевите и пр.. В по-специфичен и широк мащаб това спомага за намаляване на седиментацията във водни обекти - както на изкуствени, така и на естествени водни басейни като напр. езера, реки и язовири. Това от своя страна намалява мъртвия обем на язовирите, вероятността от затлачване и подобрява биоразнообразието [1], [3], [4], [5], [9], [10].



Фиг. 1. Ортофото моизайка от заснемане с БЛА

2 Оборудване и програмни продукти използвани в изследването

➢ **ГНСС приемник с РТК –** за измерването се използва ГНСС приемник Kolida K6, състоящ се от роувър и контролер, позволяващи да се работи в real time kinematic /RTK/ като използваната мрежа за корекции е на GEOVARA;



Фиг. 2. ГНСС приемник и контролер KOLIDA K6

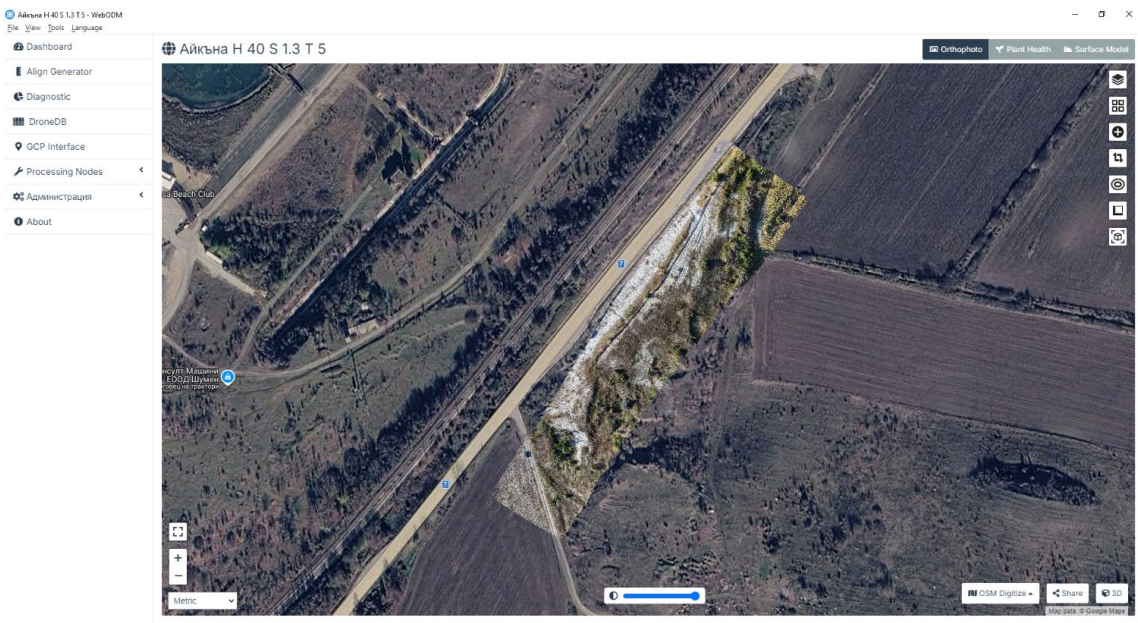
➢ **Безпилотен летателен апарат /БЛА/ -** състоящ се от дрон DJI mini 5 pro с тегло 249.9гр /клас C0/ и контролер RC-2;



Фиг. 3. Безпилотен летателен апарат-DJI mini 5 pro

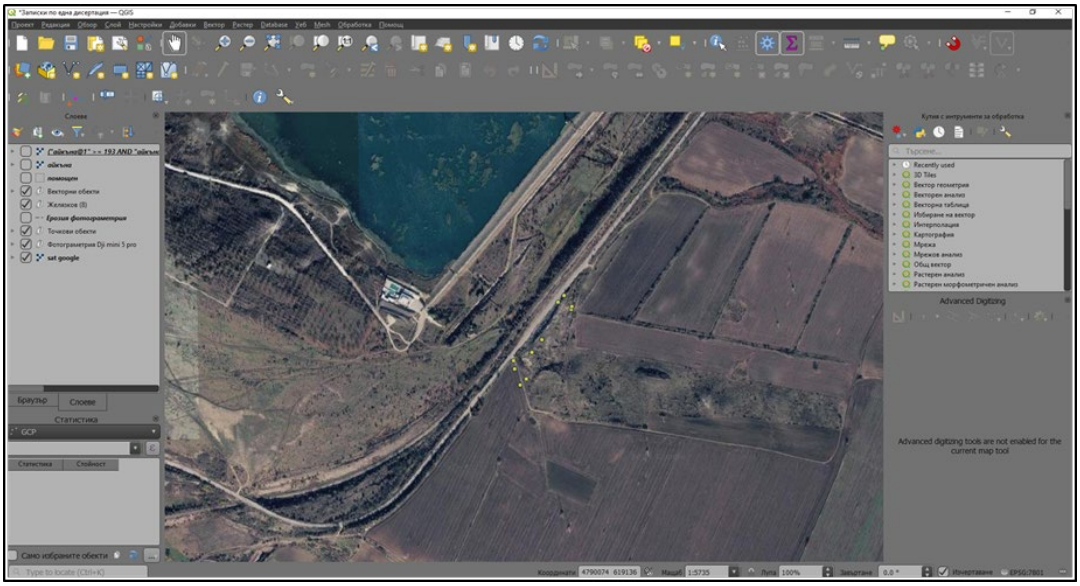
➢ **DJI FLY –** програмен продукт за планиране и изпълнение на полета по зададени параметри;

➢ **WebODM –** специализиран програмен продукт за обработка на получените фотограметрични изображения и изготвяне на ортофотомозайка;



Фиг. 4. WebODM

➢ **Qgis –** географска информационна система с отворен код, позволяваща анализиране на ортофотомозайка.



Фиг. 5. Ортофото мозайка импортирана в Qgis

3 Изследвания

Обектът на заснемане е разположен на околовръстен път югоизточно от град Шумен с обща площ от около 3300 кв.м. със силно ерозирали скатове.

В началото на полевите дейности се направи обход, за да се определят обхвата и обектите на заснемане.



Фиг. 6. Снимки на ерозионни форми направени по време на обход на местността

Използва се БЛА от клас C0 /DJI mini 5 pro/.

Характеристика на камерата:

- FOV: 84°
- Format Equivalent: 24 mm
- Aperture: f/1.8
- Focus: 0.5 m to ∞
- максимален размер на снимката 8192×6144
- формат на снимките 4/3

За постигане на необходимата точност на ортофотомозайката, параметрите на полета са:

- височина на полета 40м /измерена от точката на излитане/
- скорост на летене 1.3 м/секунда
- интервал между снимките 5 секунди

Поради необходимостта от точно георефериране, се изгради мрежа от 6 бр. наземни контролни точки /Ground Control Point-GCP/ с определени координати, чрез ГНСС приемник в РТК режим.



Фиг. 7. GCP с размер от 40 см в диаметър за пространствено ориентиране на фотограметричното заснемане

Получените снимки от БЛА и ГНСС приемника се обработиха в WebODM програмен продукт и се генерира в ортофотомозайка.

Получената ортофотомозайка се експортира в GEOTIFF формат в Qgis. Обработи се изображението, като се идентифицираха цветовите нюанси на ерозиралия участък и с растерен калкулатор изолирахме цвета с толеранс от 20%, за да се обхванат вариациите му.



Фиг. 8. Пълноцветно изображение на терена/ляво/ и с изолиран цвят /дясно/

След което се очерта в полигон във векторен слой. По този начин се изобразяват ерозирали петна с тяхното положение и големина.



Фиг. 9. Идентифициран и маркиран участък за проследяване на ерозионните процеси

4 Резултати от изследването

Обработени са 44 от 44 снимки (табл. 1), направени от БЛА съвместно с 6 бр. GCP и се изготви модел на около 3300 кв.м.

Таблица 1. Обработени снимки

Reconstructed Images	44 over 44 shots (100.0%)
Reconstructed Points (Sparse)	76896 over 77513 points (99.2%)
Reconstructed Points (Dense)	5,715,138 points
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.5 cm
Detected Features	10,000 features
Reconstructed Features	5,652 features

В таблици 2 и 3 са представени данни от обработката на фотограметричния модел.

Таблица 2. Точност на фотограметричния модел

	Absolute	Relative
Horizontal Accuracy CE90 (meters)	0.006	0.057
Vertical Accuracy LE90 (meters)	0.009	0.080

Таблица 3. Грешки на наземните контролни точки /GCP/ по осите X,Y,Z

ID	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
GCP-B	0.000	0.000	0.001
GCP-A	0.001	-0.001	0.002
GCP-E	-0.004	0.004	0.009
GCP-F	-0.002	0.001	-0.004
GCP-D	0.000	-0.000	-0.000
GCP-C	0.002	0.000	-0.005

След обработката на GEOTIF в Qgis ерозиралия участък се определи с площ от 296 кв.м към момента на заснемане през август 2026 г.

В заключение може да кажем, че избраният метод на близкообхватна фотограметрия с GCP е приложим за предварителна оценка на малки по площ геоморфологични диструктивни процеси.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Добрев, Ст. Изследване на бреговата ивица на водоеми с фотограметрични методи. Сборник научни трудове МАТТЕХ 2020, ШУ ”Еп. К. Преславски”, том 2, стр. 283-877, ISSN:1314-3921 .

[2] Кирилова, К., Янчев, К. Отчитане на атмосферното влияние при планиране на геодезически дейности. Шумен: Университетско издателство "Епископ Константин Преславски", Годишник на ШУ "Еп. К. Преславски" Технически науки. Том XI E, 2021, стр. 44-49, ISSN: 1311-834X.

[3] Малджански Пл., Близкообхватна фотограметрия и лазерно сканиране, 2018 г., стр. 264.

[4] Петров Д., Цифрова фотограметрия, Авангард Прима, София, 2024 г., стр. 268, ISBN 978-619-279-078-3.

[5] Христов Б., Ерозия и опазване на почвите, Авангард Прима, София, 2022 г., стр. 206, ISBN 978-619-239-729-6.

[6] Dobrev, St. - „Use of Drones for Solar Panel Inspection in Solar Parks“, Journal Scientific and Applied Research, volume 28, 2025, ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online). Pages 36-38.

[7] Niyazi-Yusuf, M. “Application of remote methods with unmanned aerial systems for the production of cadastral maps and cadastral registers on the territory of the Republic of Bulgaria”, Mersin Photogrammetry Journal, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, Mersin, Turkiye, 2025, doi: 10.53093/mephoj.1666110, SCOPUS

[8] Ivanov S. „Spatial data models“. Journal scientific and applied research. Volume 20. Шумен 2021. Университетско издателство „Еп. К. Преславски“. ISSN: 1314-6289. Стр. 40 - 46.

[9] Ениманев, Ив., Книга (4 глави) (1,2,3,8 глава), Ениманев, К., Ениманева, Св., „Управление на инвестиционни проекти”, „ Дема прес”, Русе, 2026 г., стр. 166, ISBN 978-619-7767-65-0.

[10] Ениманев, Ив. „ Космическа архитектура и инженерни мрежи”, Сборник доклади, Академия за иновации и развитие – АИР, стр. 219 - 229, ISBN 978-619-91298-9-0.

[11] Dimanova, D., Tsankov, Ts. Statistical model of the intensity of the rainfall in Shumen region. Journal Scientific & Applied Research, Vol. 4, 2013, pp. 98–105, ISSN 1314-6289.

SBAS INSAR FOR SATELLITE MONITORING OF GROUND DEFORMATION*

STOYAN D. MITREV

ABSTRACT: *SBAS InSAR, an interferometric analysis technique using short baseline measurements, is a multi-temporal method for deriving the spatial distribution and temporal evolution of ground surface displacements. Using a network of differential SAR interferograms, formed solely from images that are close in time and orbital space, the method minimises spatial and temporal decorrelation and reconstructs time series of displacement along the radar line of sight. The freely available Sentinel-1 archive makes SBAS InSAR a particularly effective tool for area-wide monitoring of landslides, subsidence, urbanised areas and hydraulic engineering structures. The main conclusion is that the technology does not replace ground-based measurements, but rather enhances their informative value: InSAR localises spatial anomalies, whilst GNSS and precise levelling provide independent verification and physical interpretation.*

KEYWORDS: *SBAS, InSAR, Sentinel-1, deformation monitoring, time series, dam walls*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26SDM

SBAS INSAR ЗА СПЪТНИКОВ МОНИТОРИНГ НА ЗЕМНИ ДЕФОРМАЦИИ

СТОЯН Д. МИТРЕВ

АБСТРАКТ: *Интерферометричният анализ с малки базови линии SBAS InSAR е многовремеви метод за извличане на пространственото разпределение и времевото развитие на преместванията на земната повърхност. Чрез мрежа от диференциални SAR интерферограми, формирани само между близки във времето и орбиталното пространство изображения, методът ограничава пространствената и времевата декорелация и възстановява времеви редове на преместването по линията на визиране на радара. Свободният архив на Sentinel-1 превръща SBAS InSAR в особено ефективен инструмент за площен мониторинг на свлачища, слягания, урбанизирани територии и хидротехнически съоръжения. Основният извод е, че технологията не замества наземните измервания, а увеличава тяхната информативност: InSAR локализира пространствените аномалии, а GNSS и прецизната нивелация осигуряват независим контрол и физическа интерпретация.*

1 Същност и научни основи

Радарът със синтезирана апертура SAR регистрира амплитудата и фазата на обратно разсеяния микровълнов сигнал независимо от дневната светлина и при почти всякаква облачност. При интерферометрията фазите на две комплексни SAR изображения от една и съща геометрия се изваждат. Получената интерферометрична фаза съдържа компоненти от разстоянието сензор–терен, релефа, орбиталните неточности, атмосферата, шума и евентуалното преместване между двете дати [1], [2]. След отстраняване на известните геометрични и топографски компоненти остатъчната фаза позволява да се оцени преместването по линията на визиране LOS. За Sentinel-1, работещ в C-обхват, един пълен

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

фазов цикъл съответства на половината от дължината на вълната, тоест приблизително 2,8 cm LOS промяна; фазовото разгъване възстановява целия брой цикли [2], [3].

Единичната диференциална интерферограма е чувствителна към атмосферни забавяния и декорелация. SBAS преодолява част от този проблем чрез анализ на множество сцени. Първоначалният алгоритъм на Berardino et al. създава подмножества от интерферограми с малки перпендикулярни и времеви базови линии и решава система за скоростите между последователни епохи чрез сингулярно разлагане на матрици [4]. Така се свързват отделни подмрежи и се получават кумулативни времеви редове. Подходът с пълна пространствена разделителна способност разширява приложимостта към локални деформации и инфраструктура [5]. Количествените оценки показват, че при подходяща геометрия, достатъчна кохерентност и коректно моделиране SBAS може да регистрира бавни движения от порядъка на милиметри до сантиметри годишно [6].

2 Данни от Sentinel 1

Мисията Sentinel-1 е проектирана за систематично C-band SAR наблюдение с точна орбитална информация, широк обхват и кратък интервал на повторение [3], [7]. За наземна интерферометрия най-често се използват продукти Single Look Complex в режим Interferometric Wide Swath. Те запазват фазата и съдържат три подивици, заснети чрез Terrain Observation by Progressive Scans. Сцените трябва да бъдат от една и съща относителна орбита, посока на полета, режим и съвместима поляризация. Комбинирането на възходящи и низходящи орбити подобрява геометричната интерпретация, но всяка серия първоначално измерва само LOS компонента, а не пълния тримерен вектор [3], [8].

Sentinel-1 намалява перпендикулярните базови линии чрез стабилен орбитален контрол и предоставя последователни наблюдения за дълги периоди. Това благоприятства SBAS, но C-band сигналът все пак губи кохерентност върху водни площи, гъста сезонна растителност, обработваеми земи и повърхности с бързи промени [16]. При земнонасипна язовирна стена надеждни точки могат да се получат върху короната, пътища, бетонни елементи, сгради и открити стабилни участъци, докато затревените откоси изискват внимателна оценка на кохерентността. Изкуствени ъглови отражатели могат да стабилизират наблюдението в ключови контролни точки.

3 Технологична схема на SBAS обработката

Обработката започва с подбор на времеви архив и задаване на максимални времеви и перпендикулярни базови линии. Прагът не е универсален: той се избира според сензора, типа терен, сезонността и очакваната скорост на движение. След прилагане на прецизни орбити сцените се корегистрират спрямо референтна геометрия. При TOPS режима субпикселната точност, включително съгласуването на азимутните бурстове, е критична, защото малка грешка може да създаде фазови ивици, несвързани с реална деформация [8].

Таблица 1. Технологична схема

№	Етап	Основен резултат
1	Подбор и мрежа	SLC архив, базови линии и свързана интерферометрична мрежа
2	Предобработка	Прецизни орбити, TOPS корегистрация и интерферограми
3	Корекции	Премахване на топографската фаза, филтрация и маска по кохерентност
4	Инверсия	Разгъната фаза, времеви редове и средна LOS скорост
5	Контрол	Оценка на атмосферата, остатъчния релеф и сравнение с GNSS

След формиране на интерферограмите се отстранява топографската фаза с цифров модел на релефа, оценява се кохерентността и се извършват филтрация и фазово разгъване. Разгъването е една от най-рисковите операции: грешка от един цикъл се проявява като стъпка във времевия ред. Съвременните реализации включват проверка на затварянето на фазата, корекция на грешки при разгъването и пространствено-времева филтрация [9]. Инверсията оценява преместването за всяка дата спрямо референтна дата и референтна зона. Референтната зона трябва да бъде кохерентна и практически стабилна; в противен случай цялото поле ще съдържа общ систематичен тренд.

Атмосферният фазов екран обикновено има пространствено гладък, но времево променлив характер. Той се отделя чрез филтриране, външни метеорологични модели или комбинирани методи. Остатъчните грешки от цифровия модел на релефа се оценяват чрез зависимостта им от перпендикулярната базова линия. Крайният продукт включва карти на средната LOS скорост, времеви редове, показатели за качество и неопределеност [13]. Отворени софтуерни среди като MintPy реализират контрол на фазовото затваряне, корекция на йоносферни и тропосферни влияния и анализ на времеви редове [9]. Облачните P-SBAS вериги позволяват автоматизирана обработка на големи Sentinel-1 архиви и национални или континентални продукти [10].

4 Приложение при деформационен мониторинг

SBAS InSAR е подходящ за процеси, които се развиват постепенно и запазват достатъчна кохерентност: слягане от подземни води и минни дейности, свлачищни движения, вулканична деформация, урбанизирани територии и инфраструктура. Основното предимство е площното наблюдение на хиляди измервателни точки от единна референтна система [15]. То позволява да се разпознават градиенти и зони на ускорение, които могат да останат между редките наземни репери. В сравнение с едноепохова карта времевият ред отделя устойчивата тенденция, сезонното поведение и единичните аномалии.

При язовирни стени методът може да изследва короната, въздушния откос и прилежащия терен, да локализира диференциални слягания и да сравнява движението с нивото на водата, валежите и температурните промени. Като отделно изследване на валежните характеристики е предложен статистически модел на интензивността на валежите в Шуменския регион [18]. Изследвания със Sentinel-1 показват приложимостта на SBAS към строящи се и експлоатирани язовирни съоръжения, но подчертават необходимостта от анализ на кохерентността и инженерна проверка на аномалиите [11]. За земнонасипна стена разумната схема включва отделни времеви редове за короната, откосите, устоите и стабилни точки извън съоръжението. Линейният модел $\boldsymbol{d(t) = v \cdot t + c}$ е удобен за средна скорост, но остатъците следва да се проверяват за сезонна компонента и промяна на тренда.

LOS резултатът не бива автоматично да се нарича вертикално преместване. При наличие на възходяща и низходяща серия може при допускане за малка север–юг компонента да се разложат източната и вертикалната компонента. Пълното извеждане на East-West, North-South и Up-Down изисква допълнителна независима геометрия или GNSS, защото почти полярната орбита на Sentinel-1 има ниска чувствителност към север–юг движение. GNSS наблюденията върху стабилни и контролни точки служат за реферииране, калибриране и валидиране, а прецизната нивелация е особено ценна за вертикалния компонент [14], [17]. UAV фотограметрията допълва системата с подробен повърхнинен модел и локален оглед на ерозия, пукнатини и промени в геометрията.

5 Точност ограничения и контрол на качеството

Точността на SBAS не е една фиксирана стойност. Тя зависи от броя и разпределението на сцените, кохерентността, атмосферните условия, орбиталните данни, цифровия модел на релефа, фазовото разгъване и стабилността на референтната зона [1], [6], [12]. Средната скорост обикновено е по-устойчива от преместването в единична дата. Пространственото осредняване може да намали шума, но също да заглади локална деформация. Поради това прагът за аларма не трябва да се определя само от цветовата скала на картата, а от оценена неопределеност, повторяемост, пространствена свързаност и потвърждение с независими измервания.

Ключовите ограничения са: декорелация върху растителност и вода; сенки и радарно застъпване при неблагоприятен релеф; атмосферен сигнал, който наподобява деформация; загуба на информация при бързи движения между две сцени; относителен характер спрямо референтната зона; и едномерна LOS чувствителност. Надеждният проект документира мрежата от интерферограми, праговете за кохерентност, използвания DEM, моделите за атмосфера, избора на референция и изключените точки. Резултатите се представят заедно с карти на кохерентност, плътност на валидните пиксели, стандартна грешка на скоростта и сравнение с GNSS или нивелация.

6 Заключение

SBAS InSAR превръща поредицата SAR изображения в количествена картина на пространствено-времевата деформация. Sentinel-1 осигурява подходящи систематични данни, а малките базови линии ограничават декорелацията и позволяват възстановяване на времеви редове. Методът е особено полезен като площен слой в интегрирана система за мониторинг на язовирни стени: той открива зони с различно поведение и насочва наземния контрол. Инженерно достоверният резултат обаче изисква проверка на атмосферата и фазовото разгъване, правилно тълкуване на LOS геометрията и валидиране с GNSS, нивелация и локални наблюдения. Следователно най-силната употреба на SBAS е не като самостоятелна алармена система, а като част от комбинирана, многосензорна програма за наблюдение.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] ROSEN, P. A., HENSLEY, S., JOUGHIN, I. R., LI, F. K., MADSEN, S. N., RODRÍGUEZ, E. и GOLDSTEIN, R. M. Synthetic aperture radar interferometry. Proceedings of the IEEE. 2000, 88(3), 333–382. DOI 10.1109/5.838084.

[2] HANSSEN, R. F. Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. ISBN 978-0-7923-6945-5. DOI 10.1007/0-306-47633-9.

[3] EUROPEAN SPACE AGENCY. Sentinel-1 User Handbook. ESA Standard Document, 2013. Available at: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook [Accessed 11 September 2026].

[4] BERARDINO, P., FORNARO, G., LANARI, R. и SANSOSTI, E. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2002, 40(11), 2375–2383. DOI 10.1109/TGRS.2002.803792.

[5] LANARI, R., MORA, O., MANUNTA, M., MALLORQUÍ, J. J., BERARDINO, P. и SANSOSTI, E. A small-baseline approach for investigating deformations on full-resolution differential SAR interferograms. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2004, 1(3), 139–143. DOI 10.1109/LGRS.2004.828196.

[6] CASU, F., MANZO, M. и LANARI, R. A quantitative assessment of the SBAS algorithm performance for surface deformation retrieval from DInSAR data. Remote Sensing of Environment. 2006, 102(3–4), 195–210. DOI 10.1016/j.rse.2006.01.023.

[7] TORRES, R., SNOEIJ, P., GEUDTNER, D. et al. GMES Sentinel-1 mission. Remote Sensing of Environment. 2012, 120, 9–24. DOI 10.1016/j.rse.2011.05.028.

[8] YAGUE-MARTINEZ, N., PRATS-IRAOLA, P., RODRIGUEZ GONZALEZ, F. et al. Interferometric processing of Sentinel-1 TOPS data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2016, 54(4), 2220–2234. DOI 10.1109/TGRS.2015.2497902.

[9] YUNJUN, Z., FATTAHI, H. и AMELUNG, F. Small baseline InSAR time series analysis: Unwrapping error correction and noise reduction. Computers and Geosciences. 2019, 133, 104331. DOI 10.1016/j.cageo.2019.104331.

[10] DE LUCA, C., ZINNO, I., MANUNTA, M., LANARI, R. и CASU, F. Large areas surface deformation analysis through a cloud computing P-SBAS approach for massive processing of DInSAR time series. Remote Sensing of Environment. 2017, 202, 3–17. DOI 10.1016/j.rse.2017.05.022.

[11] LI, Y., ZHOU, L., ZHANG, Y. et al. Deformation monitoring and potential risk detection of in-construction dams utilizing SBAS-InSAR technology: A case study on the Datengxia Water Conservancy Hub. Water. 2024, 16(7), 1025. DOI 10.3390/w16071025.

[12] CROSETTO, M., MONSERRAT, O., CUEVAS-GONZÁLEZ, M., DEVANTHÉRY, N. и CRIPPA, B. Persistent Scatterer Interferometry: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2016, 115, 78–89. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011.

[13] Stoykov, E., „Hydrographie acoustic systems – measurement principles“, Journal scientific and applied research, Vol. 24, 2023, Konstantin Preslavsky University Press, Shumen, ISSN: 1314-6289, 32-37, EBSCO, USA

[14] Stoykov, E., „Analysis of the evolution of global navigation satellite systems“, Годишник: Технически науки. Том VIII Е., Шумен: Университетско издателство "Епископ Константин Преславски", 2018 г., 119 - 125 стр. ISSN: 1311-834X.

[15] Mirem Niyazi-Yusuf, Krasimira Kirilova, Kiril Yanchev Determination of an obvious factual error in a cadastral map. Journal scientific and applied research, лицензиран в EBSCO, USA. Vol. 26, 2024, International Journal, ISSN 1314-6289 (print); ISSN 2815-4622 (online) pp 19-26.

[16] Ениманев, Ив., Книга (4 глави) (1,2,3,8 глава), Ениманев, К., Ениманева, Св., „Управление на инвестиционни проекти”, „ Дема прес”, Русе, 2026 г., стр. 166, ISBN 978-619-7767-65-0.

[17] Ениманев, Ив. „ Космическа архитектура и инженерни мрежи”, Сборник доклади, Академия за иновации и развитие – АИР, стр. 219 - 229, ISBN 978-619-91298-9-0.

[18] Dimanova, D., Tsankov, Ts. Statistical model of the intensity of the rainfall in Shumen region. Journal Scientific & Applied Research, Vol. 4, 2013, pp. 98–105, ISSN 1314-6289.

[19] Dimanova, D., Kuzmanov, Z. The use of GIS for the management of natural disasters and crisis situations. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 28, No. 1, 2025, pp. 131–138. https://doi.org/10.46687/jsar.v28i1.431

ANALYSIS OF THE STATE OF THE SPECIALIZED CADASTRE IN INVESTMENT DESIGN IN SHUMEN REGION*

MIREM E. NIYAZI-YUSUF

ABSTRACT: *Specialized maps and registers are an important source of spatial information for spatial planning and investment design. The aim of this study is to analyze the state of specialized cadastre in Shumen Region based on a questionnaire survey conducted among the municipal administrations of all ten municipalities in the region. The analysis covers the availability and maintenance of specialized data, the use of GIS, data exchange, and data updating. The results reveal an uneven level of data availability and digitalization, with information in a significant number of the examined thematic areas being limited, fragmented, or unavailable.*

KEYWORDS: *specialized cadastre, investment design, specialized maps, GIS, spatial data*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26MEN

АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА СПЕЦИАЛИЗИРАНИЯ КАДАСТЪР В ИНВЕСТИЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ В ОБЛАСТ ШУМЕН

МИРЕМ Е. НИЯЗИ-ЮСУФ

АБСТРАКТ: *Специализираните карти и регистри са важен източник на пространствена информация при устройственото планиране и инвестиционното проектиране. Целта на изследването е да се анализира състоянието на специализирания кадастър в област Шумен въз основа на анкетно проучване сред общинските администрации на десетте общини в областта. Анализирани са наличието и поддържането на специализирани данни, използването на ГИС, обменът и актуализацията на информацията. Резултатите показват неравномерна степен на наличност и цифровизация, като в значителна част от изследваните направления данните са ограничени, фрагментарни или липсват.*

1 Въведение

Инвестиционното проектиране е свързано с необходимостта от използване на точна, актуална и пространствено определена информация за съществуващото състояние на територията. Наред с данните от кадастралната карта и кадастралните регистри, съществено значение имат специализираните карти и регистри, съдържащи информация за обекти и характеристики, които не са представени в пълен обхват в основния кадастър. Тези данни подпомагат устройственото планиране, проектирането, изграждането, реконструкцията и управлението на обекти на техническата инфраструктура и други елементи на територията. Управлението на инвестиционните проекти обхваща взаимно свързани дейности по тяхното планиране, подготовка, реализация и контрол, което определя значението на информационната осигуреност през отделните етапи на инвестиционния процес [14].

Специализираният кадастър обхваща разнообразна пространствена информация, свързана с електроенергийната, водоснабдителната и канализационната, газоснабдителната и телекомуникационната инфраструктура, повърхностните води, трайните насаждения,

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

релефа, обектите с особен правен режим и други обекти и характеристики с значение за инвестиционния процес. Наличието на надеждни и актуални данни за тези елементи е предпоставка за по-пълно отчитане на съществуващите ограничения и условия при разработването на инвестиционни проекти.

Практическото използване на специализираните пространствени данни е свързано не само с тяхното създаване, но и с начина на съхранение, актуализиране, обмен и интегриране с други информационни източници. Развитието на географските информационни системи създава възможности за обединяване на различни тематични слоеве в единна пространствена среда и за по-ефективното им използване от общинските администрации, проектантите и другите участници в инвестиционния процес. Същевременно степента на цифровизация, наличността на информация и практиките за нейното поддържане могат да се различават значително между отделните административно-териториални единици.

Изследването на състоянието на специализирания кадастър на регионално ниво позволява да се установят както наличните информационни ресурси, така и различията в тяхното съдържание, актуалност и технологично управление. Област Шумен представлява подходящ териториален обхват за подобен анализ поради включването на общини с различни по мащаб, структура и степен на урбанизация територии.

Целта на настоящия доклад е да се анализира състоянието на специализирания кадастър в инвестиционното проектиране в област Шумен въз основа на резултатите от анкетно проучване сред общинските администрации. Анализът е насочен към установяване на наличието и обхвата на специализираните пространствени данни, начините за тяхното съхранение и поддържане, използването на географски информационни системи, обмена на информация и основните затруднения, свързани с актуалността и достъпността на данните.

2 Теоретична и нормативна рамка на специализирания кадастър в инвестиционното проектиране

2.1. Теоретична рамка

Кадастралната информация представлява основен пространствен информационен ресурс при устройственото планиране и инвестиционното проектиране. Съдържанието на кадастралната карта и кадастралните регистри обаче не обхваща всички характеристики на територията и всички обекти, които могат да окажат влияние върху разработването и реализацията на инвестиционни проекти. Поради това основните кадастрални данни се допълват със специализирана пространствена информация, организирана в специализирани карти, регистри и информационни системи. Връзката между кадастралната информация, регулационните планове и използването на графични материали при изменение на кадастралната карта е разгледана и в [9].

В нормативната уредба понятието е свързано със „специализирани карти, регистри и информационни системи“, докато в научната и професионалната практика съвкупността от специализирани пространствени и атрибутивни данни често се разглежда в по-широкия контекст на специализирания кадастър. Неговото предназначение е да допълва основния кадастър с информация за обекти, характеристики и ограничения, чието подробно отразяване е необходимо за конкретни отраслови, управленски, устройствени и инвестиционни дейности.

Съществена особеност на специализираните карти и регистри е тяхната тематична насоченост. В зависимост от предназначението им те могат да съдържат данни за характеристики на недвижимите имоти, различни от основните кадастрални данни, за надземни и подземни линейни обекти на техническата инфраструктура и техните

сервитутни ивици, трайни насаждения, водни течения и водни площи, природни богатства в земните недра, релефа на земната повърхност и други обекти, определени в нормативен акт [1]. Тази тематична многопластовост определя значението им като информационна основа при анализ на съществуващото състояние на територията.

За инвестиционното проектиране особено значение имат данните за съществуващите инженерни мрежи и съоръжения, техните пространствени характеристики и сервитутни зони. Информацията за електроенергийни, водоснабдителни и канализационни, газоснабдителни и електронни съобщителни мрежи позволява да бъдат отчетени съществуващите обекти и ограничения още в началните етапи на инвестиционния процес. Наред с тях значение имат данните за релефа, повърхностните води, трайните насаждения, защитените територии, културното наследство и други обекти със специфичен режим. Приложението на тематична картографска информация в инвестиционното проектиране е разгледано и чрез конкретни картографски продукти, свързани с вертикалното планиране и определянето на земните маси [8].

Съвременното развитие на специализирания кадастър е пряко свързано с използването на географски информационни системи. ГИС средата позволява пространствените и атрибутивните данни от различни източници да бъдат организирани в тематични слоеве, съвместявани и анализирани спрямо кадастралната основа. Подходите за организиране и въвеждане на картографски данни в уеб базирана географска информационна система са разгледани и в [12]. По този начин специализираната информация може да бъде използвана едновременно за справочни, аналитични, устройствени и проектантски цели. Възможностите за изграждане и организация на геоинформационни системи чрез различни методически подходи са предмет на изследване и в [13]. Ефективното ѝ приложение обаче зависи от пълнотата, точността, актуалността и оперативната съвместимост на поддържаните информационни ресурси.

2.2. Нормативна рамка

Основният нормативен акт, уреждащ създаването и поддържането на специализираните карти, регистри и информационни системи, е Законът за кадастъра и имотния регистър (ЗКИР). Съгласно чл. 32 от закона ведомствата, общините, експлоатационните дружества и другите юридически лица, съобразно характера на своите функции, организират набирането, поддържането в актуално състояние и предоставянето на специализирани данни, както и създават и поддържат въз основа на тях специализирани карти, регистри и информационни системи [1]. Те се изработват и поддържат въз основа на данните от кадастъра, което определя непосредствената им връзка с кадастралната информационна основа.

Пряко отношение към инвестиционното проектиране има чл. 34 от ЗКИР, съгласно който за нуждите на устройственото планиране, инвестиционното проектиране и други благоустройствени дейности в урбанизираните територии се изработват специализирани карти за устройствено планиране. Те съвместяват данни от кадастралната карта и специализираните карти с информация за водни площи и течения, озеленени площи, подземни и надземни обекти на благоустройството, действащи подробни устройствени планове и други данни, необходими за устройственото планиране [1,2].

С измененията на ЗКИР, обнародвани през 2025 г. и в сила от 9 февруари 2026 г., е доразвита нормативната уредба, свързана с приемането, достъпа и обмена на специализираните данни. Предвидено е специализираните карти и регистри да се приемат от комисия с участие на представители на възложителя, службата по геодезия, картография

и кадастър, общинската администрация и други заинтересовани лица. Законът регламентира и публичния достъп до специализираните карти, регистри и информационни системи, както и безвъзмездния обмен на информация между общините и експлоатационните дружества [1,2].

Общата нормативна рамка се допълва от подзаконови и специални нормативни актове, които конкретизират съдържанието, условията и реда за създаване и поддържане на отделни видове специализирани карти и регистри. За енергийната инфраструктура Наредба № Е-РД-04-3 от 23 май 2024 г. регламентира специализираните карти и регистри на енергийните обекти, собственост на операторите на електропреносната и електроразпределителните мрежи, както и на определени хидротехнически съоръжения за производство на електрическа енергия [3]. За електронните съобщителни мрежи Наредба № 21 от 10 октомври 2019 г. определя съдържанието, условията и реда за създаване и поддържане на специализирани карти и регистри на мрежите, съоръженията и свързаната с тях физическа инфраструктура [4].

Специализирана нормативна уредба е установена и за други тематични направления. Горскостопанските карти се уреждат с Наредба № 20 от 18 ноември 2016 г. [5], а специализираните карта, регистър и информационна система на защитените територии – с Наредба № Н-3 от 8 ноември 2024 г. [6]. Отделна нормативна уредба е предвидена и за регистъра на откритията и специализирания кадастър на находищата на подземни богатства [7]. Наред с тях приложими са разпоредби на Закона за устройство на територията, Закона за водите, Закона за енергетиката, Закона за горите, Закона за защитените територии, Закона за културното наследство и други секторни нормативни актове, в зависимост от характера на конкретните пространствени данни.

Така нормативната уредба очертава система, в която специализираните пространствени данни се създават и поддържат от различни компетентни органи и организации, но са функционално свързани с кадастралната основа. Тази особеност е съществена при оценката на действителното състояние на специализирания кадастър на общинско ниво, тъй като наличието на определени данни в дадена общинска администрация не е равнозначно на наличието или отсъствието им в системите на съответните ведомства и експлоатационни дружества. Поради това последващият анализ на общините в област Шумен е насочен към наличността, достъпа, начина на поддържане и практическото използване на специализираните пространствени данни от общинските администрации.

3 Методика и обхват на изследването

За установяване на състоянието на специализирания кадастър в инвестиционното проектиране в област Шумен е проведено анкетно проучване сред общинските администрации. Проучването е осъществено в периода януари – април 2026 г. и обхваща всички десет общини на територията на областта: Шумен, Нови пазар, Каспичан, Велики Преслав, Смядово, Върбица, Каолиново, Никола Козлево, Хитрино и Венец. По този начин е осигурено пълно териториално покритие на изследваната област.

Анкетната карта съдържа 40 въпроса, насочени към установяване на наличието, съдържанието, произхода, актуалността и начина на поддържане на специализирани пространствени данни на общинско ниво. Въпросите са структурирани в няколко основни тематични направления, съответстващи на видовете специализирана информация с отношение към устройственото планиране и инвестиционното проектиране.

Първата група въпроси е свързана с наличието и поддържането на специализирани данни за допълнителни характеристики на недвижимите имоти. Следващите тематични групи обхващат техническата инфраструктура – електроенергийни, водоснабдителни и канализационни, газоснабдителни и газоразпределителни и телекомуникационни мрежи. За всяка от тези категории е изследвано наличието на специализирана карта, произходът на информацията, степента на актуалност на данните и наличието на информация за сервитутните ивици.

Самостоятелни групи въпроси са насочени към наличието и поддържането на специализирана информация за трайните насаждения, повърхностните води, природните ресурси в земните недра, цифровия модел на релефа и обектите с особен правен режим. При тези категории са изследвани както наличието на съответната пространствена информация, така и нейният произход, начинът на създаване и практическото ѝ използване.

Последната част на анкетата е насочена към общата организация на специализираните пространствени данни в общинските администрации. Включени са въпроси относно оценката на състоянието на специализирания кадастър, тематичните слоеве с най-голяма необходимост от актуализация, използването на географски информационни системи, форматите за поддържане на специализираните данни, обмена на информация с Агенцията по геодезия, картография и кадастър и основните затруднения при създаването и поддържането на специализираната информация.

Респондентите са служители на съответните общински администрации, като в отделни случаи са посочени и допълнителни професионални роли, свързани с геодезията и използването на кадастрални данни. Всички участници в проучването са дали съгласие предоставената информация да бъде използвана за научни цели.

За обработката на резултатите е приложен сравнителен и описателен анализ. Отговорите са систематизирани по общини и тематични направления, като са отчетени както положителните и отрицателните отговори, така и случаите на частично наличие на информация, липса на данни или невъзможност за преценка. При въпросите, допускащи повече от един отговор, отделните категории са разгледани самостоятелно с цел установяване на най-често срещаните тенденции.

При анализа е направено разграничение между наличието на специализирани пространствени данни в общинската администрация и наличието на такива данни изобщо за съответната територия. Отрицателният отговор на общината не следва да се интерпретира автоматично като отсъствие на съответната специализирана информация, тъй като тя може да се създава и поддържа от експлоатационни дружества, държавни институции или други компетентни организации. Поради това резултатите от анкетата се използват преди всичко за оценка на наличността, достъпа, актуалността и практическото използване на специализираните данни на ниво общинска администрация.

Получените резултати са анализирани както по отделни тематични направления, така и комплексно, с цел да се очертаят общите характеристики и различията в състоянието на специализирания кадастър между общините в област Шумен.

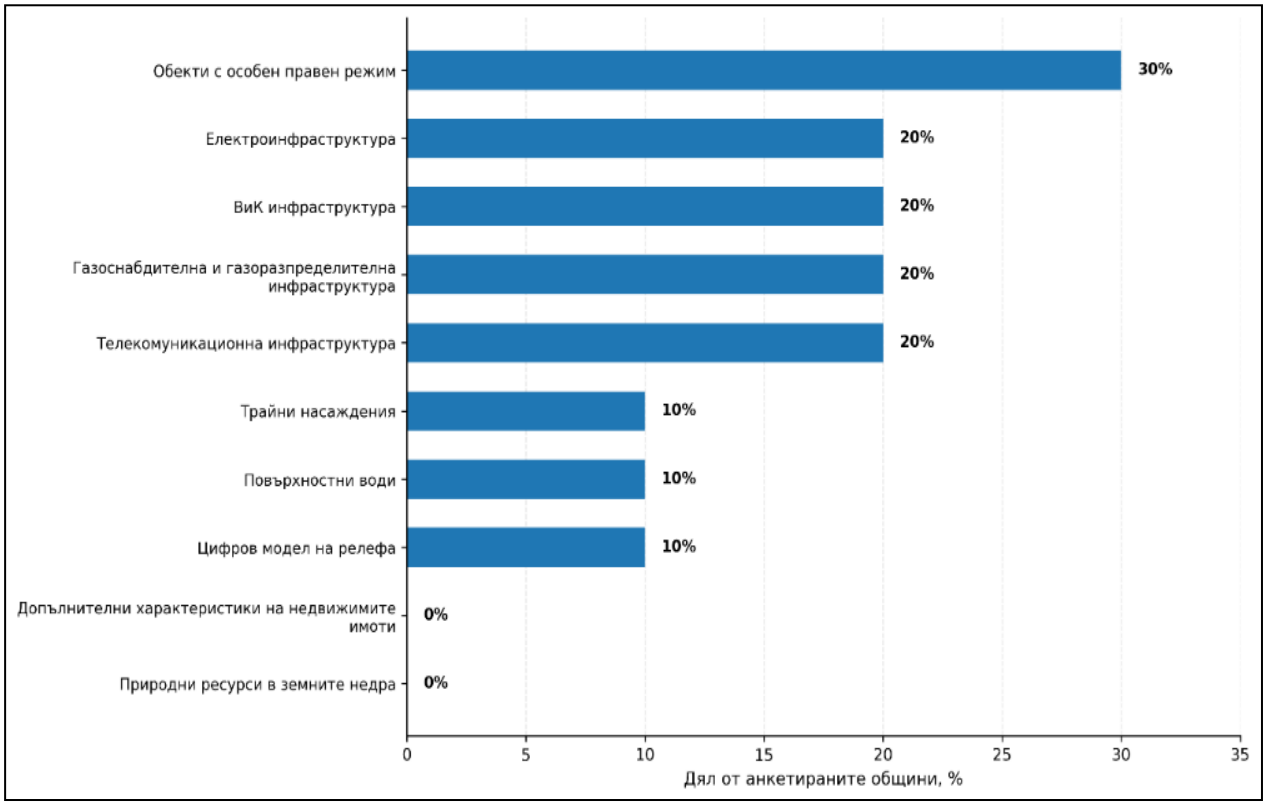
4 Анализ на състоянието на специализирания кадастър в област Шумен

Резултатите от анкетното проучване позволяват да се проследи състоянието на различни групи специализирани карти и данни, използвани или достъпни на ниво

общинска администрация. Анализът обхваща наличието на специализирана информация за недвижимите имоти, техническата инфраструктура, трайните насаждения, повърхностните води, природните ресурси в земните недра, релефа и обектите с особен правен режим. Наред с това са разгледани начините за поддържане и обмен на данните, използването на ГИС и основните затруднения, посочени от общинските администрации.

4.1. Наличие на специализирани карти и данни

Получените резултати показват, че наличието на специализирани карти и данни в общинските администрации в област Шумен е различно за отделните тематични направления, като в значителна част от случаите се отчита липса или частична наличност на информация. Обобщеното разпределение на общините според наличието или частичното наличие на специализирани карти и данни по отделните тематични направления е представено на фиг. 1.



Фиг. 1. Дял на общините с налични или частично налични специализирани карти и данни

При специализираната карта за допълнителни характеристики на недвижимите имоти девет от десетте общини (90%) посочват, че не разполагат с такава карта, а в една община наличието ѝ не е известно. Нито една от анкетираните общински администрации не посочва наличие на цялостна специализирана карта от този вид.

При техническата инфраструктура се наблюдава сходна тенденция. Специализирана карта на електроинфраструктурата липсва в седем общини (70%), в две общини (20%) е налична частично, а в една община няма информация за нейното

наличие. При ВиК инфраструктурата осем общини (80%) посочват, че не разполагат със специализирана карта, а две (20%) разполагат с частични данни. Същото съотношение е установено и при телекомуникационната инфраструктура.

При газоснабдителната и газоразпределителната инфраструктура се отчита единственият случай сред разглежданите инфраструктурни категории, при който община посочва наличие на специализирана карта. В една община информацията е налична частично, а останалите осем общини (80%) не разполагат с такава карта.

Ограничено е наличието и на специализирана информация за трайните насаждения. Девет общини (90%) посочват, че не разполагат с такава специализирана информация, а в една община е налице частична информация. Специализирана карта на повърхностните води е налична в една община, докато останалите девет общини не разполагат с такава. Най-категоричен резултат се наблюдава при природните ресурси в земните недра – и десетте анкетирани общини посочват липса на съответна карта.

Подобно състояние се установява и по отношение на цифровия модел на релефа. Осем общини (80%) не разполагат с ЦМР, в една община наличието му не е известно, а в община Велики Преслав е посочено, че цифров модел съществува само за части от територията.

По-различна е картината при обектите с особен правен режим, включващи паметници на културата, защитени зони, археологически обекти и обекти, възникнали в резултат на минни дейности. Три общини (30%) посочват наличие на карта за такива обекти, шест (60%) не разполагат с такава, а при една община наличието не е изяснено. Това е тематичното направление с най-висок дял на положителни отговори сред разглежданите категории.

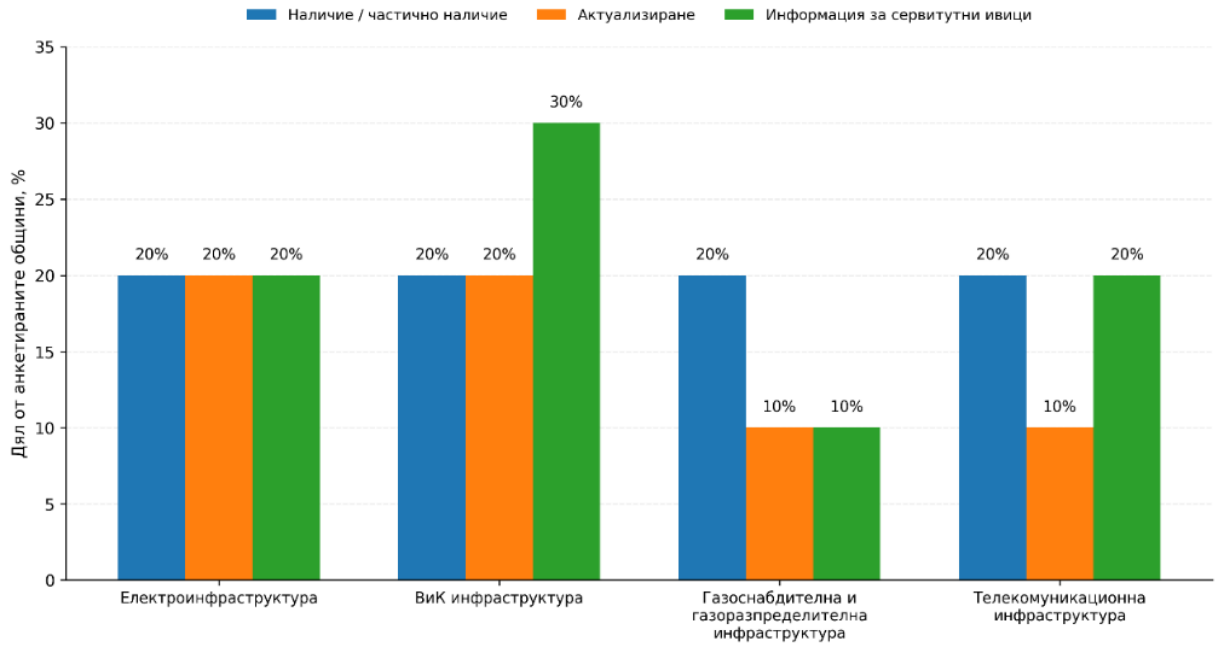
Обобщението на резултатите показва, че в общинските администрации в област Шумен не се наблюдава равномерно наличие на специализирани карти по отделните тематични направления. Преобладават отрицателните отговори, а при техническата инфраструктура се срещат и случаи на частично налични данни. Най-ограничена е информацията за природните ресурси в земните недра, допълнителните характеристики на недвижимите имоти, трайните насаждения и повърхностните води. Сравнително по-висока наличност се установява при обектите с особен правен режим и при отделни видове техническа инфраструктура.

Резултатите очертават фрагментарен характер на специализираната информация на общинско ниво. Това обстоятелство е от значение за инвестиционното проектиране, при което е необходимо съвместяването на данни от различни тематични източници и от различни институции и оператори.

4.2. Състояние на данните за техническата инфраструктура

Данните за техническата инфраструктура имат съществено значение за инвестиционното проектиране, тъй като позволяват да бъдат отчетени местоположението на съществуващите мрежи и съоръжения, техните технически характеристики и ограниченията, произтичащи от сервитутните им зони. В анкетното проучване са разгледани четири основни групи – електроенергийна, водоснабдителна и канализационна, газоснабдителна и газоразпределителна и телекомуникационна инфраструктура.

Сравнителното представяне на наличието на данни, тяхното актуализиране и наличието на информация за сервитутните ивици при основните видове техническа инфраструктура е представено на фиг. 2.



Фиг. 2. Състояние на данните за техническата инфраструктура в общините от област Шумен

По отношение на електроинфраструктурата седем от десетте общини (70%) посочват, че не разполагат със специализирана карта, две (20%) – общините Хитрино и Шумен – разполагат с частична информация, а при една община наличието ѝ не е установено. И в двете общини, в които е отчетена частична наличност, информацията е получена от инвестиционни проекти. В община Хитрино е посочено, че данните се актуализират от общината и е налична частична информация за сервитутните ивици.

При водоснабдителната и канализационната инфраструктура осем общини (80%) посочват липса на специализирана карта, а две (20%) – Хитрино и Шумен – наличие на частични данни. И при двете общини източникът на информация е проектна документация. В Хитрино данните се поддържат в актуално състояние от общината и е налична частична информация за сервитутните ивици. В община Шумен актуалността не може да бъде категорично определена, а информация за сервитутите не е отчетена.

Сравнително по-различна е ситуацията при газоснабдителната и газоразпределителната инфраструктура. Една община – Нови пазар – посочва наличие на специализирана карта, община Шумен разполага с частични данни, а останалите осем общини (80%) не разполагат с такава карта. В Нови пазар и Шумен произходът на информацията е определен като комбиниран. В община Нови пазар данните се актуализират от общинската администрация и е налична информация за сервитутните ивици. При община Шумен състоянието на актуализацията не е установено, а информация за сервитутите не е налична. Резултатите показват, че газоснабдителната инфраструктура е единственото от изследваните направления на техническата инфраструктура, при което е отчетено наличие на цялостна специализирана карта в една от анкетираните общини.

При телекомуникационната инфраструктура осем от десетте общини (80%) не разполагат със специализирана карта, а две – Хитрино и Шумен – посочват частична наличност. И в двата случая данните са получени от проекти. В община Хитрино

информацията се актуализира от общината и са налични частични данни за сервитутните ивици, докато в община Шумен актуалността не е установена и информация за сервитутите не е отчетена.

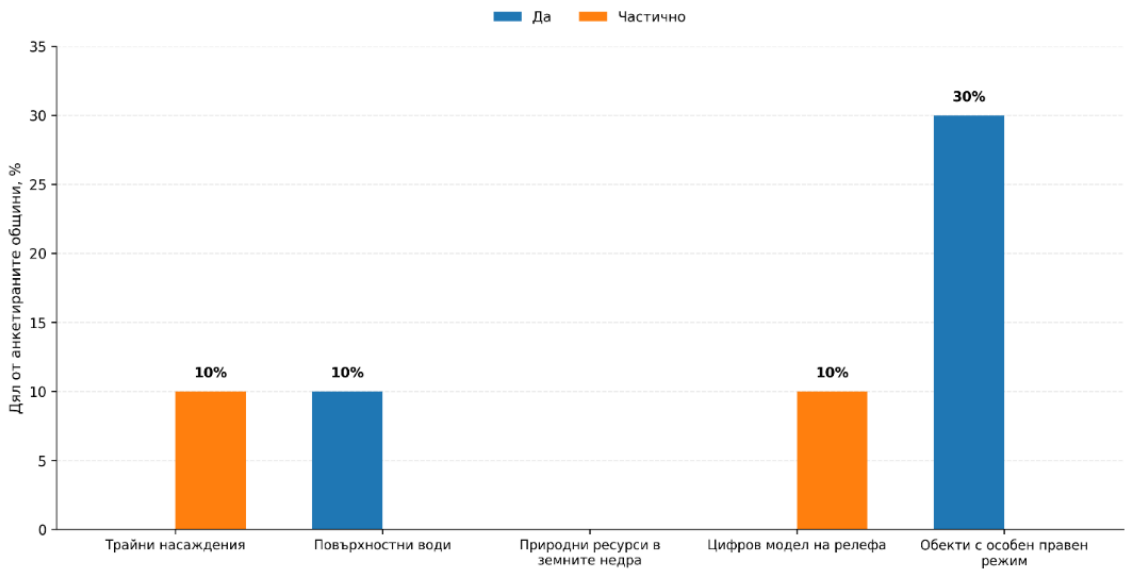
Сравнителният анализ на четирите групи техническа инфраструктура показва сходен модел – преобладава липсата на цялостни специализирани карти, а когато информация е налична, тя често е частична и е получена от отделни инвестиционни проекти или от комбинирани източници. Проектната документация се очертава като съществен източник на данни за електро-, ВиК и телекомуникационната инфраструктура, докато при газоснабдяването са посочени комбинирани източници.

Резултатите за актуализацията и сервитутните ивици също показват липса на единен модел на поддържане. В отделни общини се съхранява информация за сервитути дори при отсъствие на самостоятелна специализирана карта, което потвърждава фрагментарния характер на наличните пространствени данни. За инвестиционното проектиране това означава, че необходимата информация за техническата инфраструктура не винаги е концентрирана в единен информационен източник, а може да бъде разпределена между общинските администрации, проектната документация, експлоатационните дружества и други институции.

4.3. Състояние на специализираните данни за природни ресурси, релеф и обекти с особен правен режим

Наред с данните за техническата инфраструктура, значение за инвестиционното проектиране имат специализираните пространствени данни за природните компоненти на територията, релефа и обектите, за които са установени специфични режими на опазване и използване. В анкетното проучване са разгледани данните за трайните насаждения, повърхностните води, природните ресурси в земните недра, цифровия модел на релефа и обектите с особен правен режим.

Сравнителното представяне на наличието и частичното наличие на специализирани данни по разглежданите тематични направления е показано на фиг. 3.



Фиг. 3. Наличие и частично наличие на специализирани данни за природни ресурси, релеф и обекти с особен правен режим

При трайните насаждения девет от десетте общини (90%) посочват, че не разполагат със специализирана карта, а в една община е отчетено частично наличие на информация. Получените резултати показват ограничено представяне на този вид специализирани данни на ниво общинска администрация.

Подобно състояние се установява и при повърхностните води. Само една община (10%) посочва наличие на специализирана карта, докато останалите девет общини (90%) не разполагат с такава. Данните за водните обекти имат съществено значение при устройственото планиране и инвестиционното проектиране, тъй като могат да бъдат свързани както с физическите характеристики на територията, така и с ограничения и режими при нейното използване. При използването на хидрографски данни съществен фактор е и тяхното качество, което определя степента на съответствие на получената информация и създадените въз основа на нея картографски продукти с конкретните потребности [11].

Най-категоричен резултат се наблюдава при природните ресурси в земните недра, където всички десет анкетирани общини посочват липса на специализирана карта. Този резултат следва да се разглежда в контекста на институционалната компетентност, тъй като специализираната информация за находищата на подземни богатства се създава и поддържа от други компетентни органи и не е задължително да бъде налична непосредствено в общинската администрация.

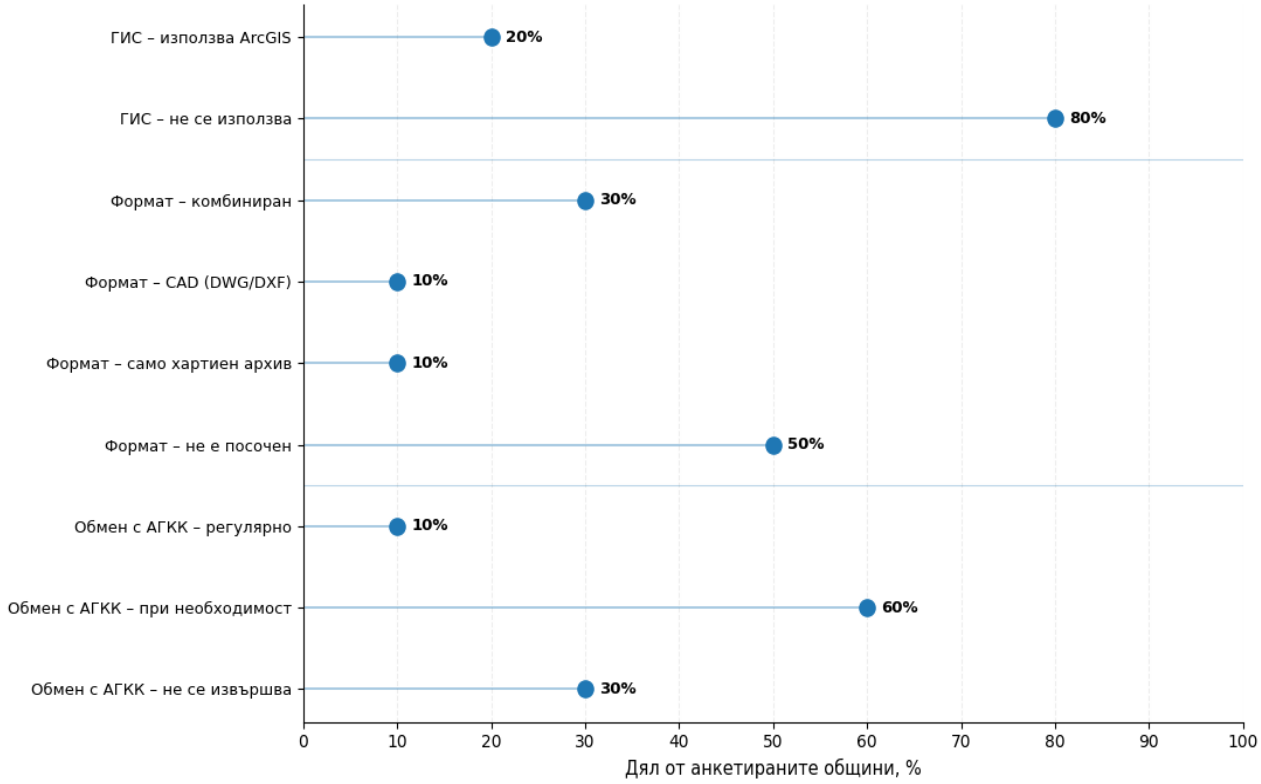
Ограничена е и наличността на информация за релефа. Осем общини (80%) посочват, че не разполагат с цифров модел на релефа, в една община наличието му не е известно, а в община Велики Преслав е отчетено наличие само за части от територията. Данните за релефа имат непосредствено приложение при инвестиционното проектиране, тъй като се използват при анализ на теренните условия, определяне на височинни характеристики и разработване на проектни решения.

Сравнително по-висока наличност се установява при обектите с особен правен режим. Три общини (30%) посочват наличие на специализирана карта или съответни данни, шест (60%) не разполагат с такива, а в една община наличието не е установено. Към тази група се отнасят паметници на културата, защитени зони, археологически обекти и обекти, възникнали в резултат на минни дейности.

Сравнението между разглежданите категории показва, че специализираните данни за природните компоненти и релефа са с ограничена наличност в общинските администрации. Най-ниска е осигуреността с информация за природните ресурси в земните недра, докато относително по-висок дял на налични данни се наблюдава при обектите с особен правен режим. Резултатите потвърждават, че специализираната пространствена информация, необходима при инвестиционното проектиране, е разпределена между различни информационни източници и компетентни институции.

4.4. Използване на ГИС, формати и обмен на данни

Използването на географски информационни системи, цифровите формати за съхранение и възможностите за обмен на данни са съществени фактори за ефективното поддържане и практическото използване на специализираната информация. В анкетното проучване са изследвани използването на ГИС от общинските администрации, форматите за поддържане на специализираните данни и обменът на информация с Агенцията по геодезия, картография и кадастър. Обобщените резултати са представени на фиг. 4.



Фиг. 4. Използване на ГИС, формати на специализираните данни и обмен с АГКК

От десетте анкетирани общини две (20%) – Каолиново и Шумен – посочват, че използват ArcGIS за поддържане на специализирани карти, докато останалите осем общини (80%) не използват ГИС за тази цел. Резултатът показва ограничено приложение на специализирана ГИС среда за организиране и управление на изследваните пространствени данни на общинско ниво. При цифровото създаване и обработване на графична информация приложение намират CAD системите, чиито същност и предназначение са разгледани в [10].

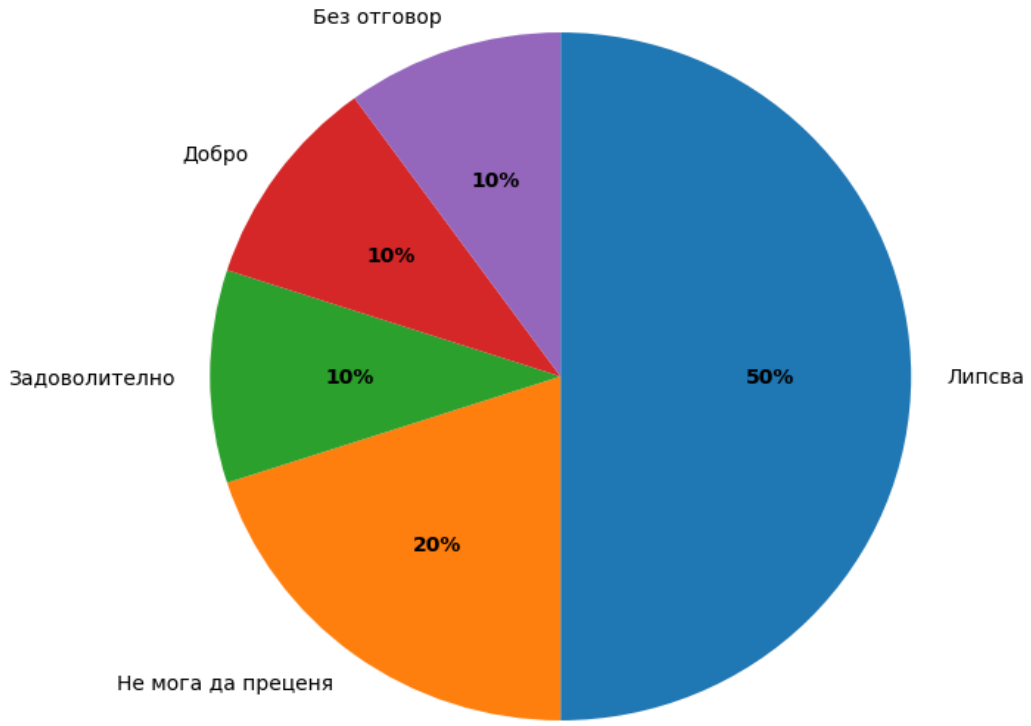
Различия се наблюдават и при форматите за поддържане на специализираната информация. В три общини (30%) е посочен комбиниран начин на поддържане, в една община (10%) данните се съхраняват във формат CAD (DWG/DXF), а в една (10%) – само като хартиен архив. При пет общини (50%) не е посочен конкретен формат. Получените резултати показват липса на единен подход към формата и организацията на специализираните данни в изследваните общински администрации.

По отношение на обмена на специализирани данни с АГКК шест общини (60%) посочват, че такъв обмен се извършва при необходимост. В една община (10%) обменът се осъществява регулярно, а три общини (30%) заявяват, че не извършват обмен на специализирани данни с АГКК. Преобладаването на обмена „при необходимост“ показва, че взаимодействието има по-скоро ситуационен, отколкото системен характер.

Съпоставянето на резултатите показва, че цифровото управление на специализираната информация в общините от област Шумен се характеризира с различна степен на технологично развитие. Ограниченото използване на ГИС, разнообразието във форматите и различната периодичност на обмена на данни очертават нееднородна информационна среда, в която специализираните пространствени данни се поддържат и използват по различен начин в отделните общински администрации.

4.5. Оценка на състоянието, необходимост от актуализация и основни проблеми

В заключителната част на анкетното проучване общинските администрации оценяват общото състояние на специализирания кадастър, посочват тематичните слоеве с най-голяма необходимост от актуализация и идентифицират основните затруднения при поддържането на специализираната информация. Разпределението на отговорите относно общото състояние е представено на фиг. 5.



Фиг. 5. Оценка на общото състояние на специализирания кадастър в анкетираните общини

Половината от анкетираните общини (50%) определят състоянието на специализирания кадастър с отговор „Липсва“. Две общини (20%) посочват, че не могат да направят преценка, една община (10%) оценява състоянието като „Задоволително“, а една (10%) – като „Добро“. В един от получените отговори не е дадена оценка. Разпределението показва преобладаване на отрицателната оценка и същевременно наличие на затруднения при определяне на състоянието в част от общинските администрации.

При определянето на тематичните слоеве с най-голяма необходимост от актуализация най-често е посочена линейната инфраструктура – от шест общини. Повърхностните води са посочени от три общини, а релефът и трайните насаждения – по веднъж. Една община определя всички тематични слоеве като нуждаещи се от актуализация. Получените резултати открояват данните за линейните инфраструктурни обекти като основно направление, при което общинските администрации отчитат необходимост от актуализиране.

Сред посочените затруднения най-силно се открояват финансовите ограничения. Четири общини изрично свързват липсата или затрудненото създаване и поддържане на специализиран кадастър с недостатъчен финансов ресурс.

Резултатите показват, че проблемите при поддържането на специализираните данни са свързани както с тяхната наличност и актуалност, така и с организационни и ресурсни фактори. Особено отчетлива е необходимостта от актуализиране на информацията за линейната инфраструктура, която има пряко значение при устройственото планиране и инвестиционното проектиране.

5 Заключение

Проведеното анкетно проучване сред общинските администрации в област Шумен позволява да се очертае актуалното състояние на специализирания кадастър и на специализираните пространствени данни, използвани в инвестиционното проектиране. Получените резултати показват съществени различия между отделните тематични направления по отношение на наличността, пълнотата и начина на поддържане на информацията.

В общинските администрации преобладават случаите на липса или частично наличие на специализирани карти и данни. Особено ограничена е наличността на информация за природните ресурси в земните недра, допълнителните характеристики на недвижимите имоти, трайните насаждения, повърхностните води и релефа. Сравнително по-висока степен на наличност се установява при обектите с особен правен режим и при отделни видове техническа инфраструктура.

Анализът на техническата инфраструктура показва, че наличната информация често има фрагментарен характер и произхожда от проектна документация или от комбинирани източници. Данните за сервитутните ивици и тяхната актуализация също не са представени равномерно във всички общини. Това потвърждава, че информацията, необходима за инвестиционното проектиране, се поддържа в различни информационни източници и от различни институции и оператори.

Ограничено е и използването на географски информационни системи за поддържане на специализираните карти и данни. Наред с това се наблюдават различия във форматите за съхранение на информацията и в практиките за обмен на данни с АГКК. Преобладава обменът при възникнала необходимост, което показва липса на еднакъв модел на взаимодействие между общинските администрации и институциите, поддържащи кадастрална и специализирана информация.

Самооценката на общините също потвърждава установената картина, като значителна част от респондентите определят състоянието на специализирания кадастър като липсващо или не могат да направят категорична оценка. Най-често посочвана е необходимостта от актуализация на данните за линейната инфраструктура, а сред основните затруднения се открояват финансовите ограничения и недостатъчният административен и експертен капацитет.

В обобщение може да се заключи, че състоянието на специализирания кадастър в област Шумен се характеризира с неравномерна наличност, различна степен на цифровизация и фрагментарно поддържане на специализираните пространствени данни. Резултатите от изследването показват необходимостта при оценката на информационната осигуреност за инвестиционното проектиране да се отчита не само наличието на данни в общинските администрации, но и тяхното разпределение между различни компетентни институции, експлоатационни дружества и други източници.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Закон за кадастъра и имотния регистър (ЗКИР), обн. ДВ, бр. 34 от 25.04.2000 г., посл. изм. и доп. ДВ, бр. 95 от 07.11.2025 г., в сила от 09.02.2026 г.

[2] Наредба № РД-02-20-5 от 15 декември 2016 г. за съдържанието, създаването и поддържането на кадастралната карта и кадастралните регистри, обн. ДВ, бр. 4 от 13.01.2017 г., изм. и доп. ДВ, бр. 72 от 31.08.2021 г.

[3] Наредба № Е-РД-04-3 от 23 май 2024 г. за съдържанието, условията и реда за създаване и поддържане на специализираните карти и регистри на енергийните обекти, собственост на операторите на електропреносната и на електроразпределителните мрежи, както и на хидротехнически съоръжения за производство на електрическа енергия, обн. ДВ, бр. 47 от 04.06.2024 г.

[4] Наредба № 21 от 10 октомври 2019 г. за съдържанието, условията и реда за създаване и поддържане на специализирани карти и регистри за електронни съобщителни мрежи, съоръжения и свързаната с тях физическа инфраструктура, обн. ДВ, бр. 83 от 22.10.2019 г.

[5] Наредба № 12 от 19 октомври 2005 г. за условията и реда за създаване и поддържане на регистър на лозарските стопанства и специализирана карта на лозята, обн. ДВ, бр. 86 от 28.10.2005 г.

[6] Наредба № Н-3 от 8 ноември 2024 г. за съдържанието и реда за създаване и поддържане на специализирани карта, регистър и информационна система на защитените територии, обн. ДВ, бр. 99 от 22.11.2024 г.

[7] Наредба за изготвянето и воденето на Националния баланс на запасите, Регистъра на откритията и Специализирания кадастър на находищата на подземни богатства, приета с ПМС № 232 от 14.12.1999 г., обн. ДВ, бр. 111 от 21.12.1999 г., изм. ДВ, бр. 5 от 19.01.2016 г.

[8] Ivanov, I. Map of the Earth Masses – Role in the Investment Project. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 27, No. 1, 2024, pp. 22–29. ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online). DOI: 10.46687/jsar.v27i1.402.

[9] Иванов, И. Проблемът кадастър и регулация – изменение на кадастралната карта чрез използване на графични материали. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2022, с. 258–264. ISSN 1314-3921.

[10] Горов, Ст., Стойков, Е. Същност и предназначение на CAD-системите. Хардуер и софтуер на CAD системата. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, Том 2. Шумен: Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2022, с. 253–257. ISSN 1314-3921.

[11] Stoykov, E. Data Quality for Hydrographic Measurements. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 21, 2021, pp. 26–30. ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online).

[12] Кирилова, К. Метод на организиране и въвеждане на картографски данни в уеб базирана географска информационна система. Шумен: Университетско издателство \"Епископ Константин Преславски\", Годишник на ШУ \"Еп. К. Преславски\" Технически науки. Том XI Е, 2021, стр. 30-35, ISSN: 1311-834X.

[13] Янчев, К., Кирилова, К. Възможност за построяване на геоинформационни системи на принципа на недетерминирания метод (Н-метод). Шумен: Университетско издателство \"Епископ Константин Преславски\", Годишник на ШУ \"Еп. К. Преславски\" Технически науки. Том XI Е, 2021, стр. 40-44, ISSN: 1311-834X.

[14] Ениманев, И., Ениманев, К., Ениманева, Св. Управление на инвестиционни проекти. Русе: „Дема прес“, 2026, 166 с. ISBN 978-619-7767-65-0.

MODERN REMOTE SENSING TECHNOLOGIES FOR MONITORING MARINE POLLUTION

MELIKE ÖNCE NIŞANCIOĞLU

ABSTRACT: *Combining satellite data with spectral indices, image-classification algorithms, machine-learning methods, and geographic information systems supports the detection of changes at the sea surface and the mapping of environmental indicators. Such information can contribute to improved management of coastlines and marine environments and help establish the information infrastructure needed for sustainable marine protection. Modern remote sensing technologies offer a broad-area, repeatable, and integrable approach to monitoring marine pollution.*

KEYWORDS: *mucilage, anthropogenic, marine enviromental, modern remote sensing technologies, monitoring*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26MON

1 Introduction

Anthropogenic pressures on marine environments have increased in recent years as a result of population growth and rapid industrial development. Humans rely on the seas for a wide range of needs, including food, transportation, recreation, and agricultural irrigation. Consequently, marine pollution poses a threat to human well-being and environmental health. Detecting pollution at an early stage, or taking preventive measures before it occurs, is therefore essential. This is particularly important because disturbances in marine food webs may be difficult to reverse or may require many years to recover [1], [2].

One of the major marine environmental concerns in recent years is mucilage, a gelatinous accumulation associated with the excessive production and aggregation of organic matter by marine organisms, including algae. When it accumulates at the sea surface, this material may reduce light penetration into the water column. Reduced light availability can affect photosynthesis and, under certain conditions, contribute to declines in dissolved oxygen to levels that threaten marine life. Mucilage, also referred to as “sea saliva” or “sea snot,” is a gelatinous, often transparent material containing algal remains and organic and inorganic substances [2]. Although its initial appearance may not always indicate an immediate threat, the material and associated substances may influence water quality over time. Mucilage events may persist for several days or, in some cases, for months. A thickness range of 5–25 m has been reported by [2].

Mucilage events have been reported in various marine ecosystems worldwide. They have been observed in the Mediterranean Sea, the Pacific Ocean, the North Sea, coastal areas of France and the United States, and Turkish waters, particularly the Sea of Marmara and the Mediterranean coast.

Remote sensing systems—including satellite sensors, spectral indices, image-processing techniques, and validation methods—can help identify surface features potentially associated with mucilage in marine environments. These systems can support the monitoring of large areas and provide information that may help authorities respond before an event spreads further. Maps and satellite imagery can visually represent the spatial distribution of selected environmental indicators. Remote sensing is also useful for collecting information from hazardous or difficult-to-access areas.



Fig. 1. Mucilage affecting the coast



Fig. 2. Mucilage affecting the Sea of of Australia Marmara, Türkiye

2 Material and Method

This study reviews the current status and future application opportunities of remote sensing technologies for monitoring mucilage in marine environments. Remote sensing and geographic information systems (GIS) can help characterize spatial changes that may be difficult to assess using other methods alone [3].

Remote sensing is the science of analysing objects and phenomena without direct physical contact, based on their responses to electromagnetic radiation recorded from airborne or spaceborne platforms. Satellite-based observations of the Earth began with the launch of Landsat 1 in 1972. Since then, satellites have been developed by many countries to investigate the physical and chemical characteristics of the Earth's surface and to support the prediction and monitoring of natural hazards. Early sensors carried only a limited number of spectral bands, whereas modern instruments may provide observations across numerous bands. The remote sensing of mucilage relies on multispectral satellite imagery, spectral analysis, image-classification algorithms, and geographic information systems. These methods can be used to map the spatial distribution of mucilage accumulating at the sea surface, monitor changes over time, and delineate areas affected by an event [3], [4], [5].

2.1. Sentinel-2 MSI

The Sentinel-2 satellites operated by the European Space Agency (ESA) provide multispectral imagery through their Multispectral Instrument (MSI) sensors, covering the visible, near-infrared, and shortwave-infrared regions of the electromagnetic spectrum. Their relatively high spatial resolution and regular observation capability offer important advantages for mapping mucilage in coastal waters. Sentinel-2 imagery has been used to observe mucilage in the Sea of Marmara and to investigate changes in its spatial extent across different dates. The data are suitable for mapping coastal distribution, accumulation in bays, and changes in the extent of affected areas over time.

2.2. WorldView-3 High-Resolution Satellite System

WorldView-3 is a satellite system that enables detailed investigation of surface features in coastal areas because of its high spatial resolution and broad spectral capabilities. When used alongside medium-resolution systems such as Sentinel-2, it can support a more detailed assessment of the local distribution and spectral characteristics of mucilage accumulations. Tuzcu Kokal et al. (2022) investigated the spectral characteristics of different mucilage types in the İzmit Gulf section

of the Sea of Marmara using Sentinel-2 and WorldView-3 imagery.Their study examined whether spectral differences in the near-infrared region, particularly between 725 and 950 nm, could be used to classify mucilage features [4], [5].

2.3. MODIS Satellite System

The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) is a remote sensing instrument designed to observe large geographic areas at frequent intervals. It was developed by NASA to monitor the Earth's surface, oceans, and atmosphere. MODIS data are particularly useful for tracking broad-scale changes and the temporal development of mucilage events, rather than mapping small coastal features in detail. Studies of the 2021 mucilage event in the Sea of Marmara have assessed the potential for frequent monitoring using MODIS products. In these studies, MODIS surface-reflectance data were compared with reference areas identified in Sentinel-2 imagery and with in situ spectroradiometric measurements.The findings indicate that MODIS can support large-scale monitoring; however, uncertainty may increase near coastlines because of mixed land–water pixels, cloud cover, and low-quality observations [4],[6], [9].

2.4. Google Earth Engine and Image-Classification Algorithms

Google Earth Engine (GEE) is a cloud-based geospatial processing platform that enables large volumes of satellite imagery to be processed, images from different dates to be compared, and time-series analyses to be conducted. GEE is not a satellite sensor; rather, it is a platform for analysing satellite data.Supervised classification algorithms, such as Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM), can be used in remote sensing analyses of mucilage. Random Forest combines the outputs of multiple decision trees to classify pixels, whereas SVM separates classes based on differences in their feature characteristics. When suitable training data and reference samples are available, these methods can help distinguish areas with potential mucilage coverage from other surface types.However, classification performance depends on the selected spectral bands, image quality, representativeness of training samples, and the appearance of mucilage at the sea surface. Therefore, results should be validated against independent reference data, and classification accuracy should be reported using appropriate statistical metrics [6], [7], [8].

3 Comparison of Remote Sensing Systems

Satellite systems used to monitor mucilage differ in their spatial resolution, temporal observation frequency, and data-access arrangements, resulting in different advantages and limitations. Table 1 compares their main applications and limitations.

Table 1. Comparison of remote sensing systems

System/Method	Main application	Limitation
Sentinel-2 MSI	Mapping coastal areas potentially affected by mucilage	May be affected by cloud cover, atmospheric effects, and spectrally similar surface features
WorldView-3 high-resolution satellite system	Detailed local-scale spectral and spatial analysis	Data access and cost
MODIS satellite system	Frequent temporal monitoring over broad areas	Limited spatial detail in coastal areas
Google Earth Engine and image-classification algorithms	Processing satellite data and analysing time series	Results depend on the input data and the selected algorithm

4 Conclusions and Recommendations

This study examined remote sensing systems used to detect and monitor mucilage in marine environments. Modern remote sensing technologies provide opportunities to assess environmental changes over larger areas. One of the main advantages of these systems is their ability to provide spatial and temporal information that is difficult to obtain at short intervals using conventional methods alone. Satellite-based remote sensing offers opportunities to monitor parameters such as chlorophyll-a concentrations, sea-surface temperature, turbidity, suspended particulate matter, and the optical properties of water. Systems such as Sentinel-2, Sentinel-3, Landsat, and MODIS enable observations at different scales, from coastal areas to extensive marine regions, because they offer different spatial and temporal resolutions.Combining satellite data with spectral indices, image-classification algorithms, machine-learning methods, and geographic information systems supports the detection of changes at the sea surface and the mapping of environmental indicators. Such information can contribute to improved management of coastlines and marine environments and help establish the information infrastructure needed for sustainable marine protection. In conclusion, modern remote sensing technologies offer a broad-area, repeatable, and integrable approach to monitoring marine pollution.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Doğan H. M., Yıldız H., Kesici Y., Buhan E., Demirhan H., Kurt O., Balcı A., Demirak A. Final Report of the Project "Monitoring Pollution in Güllük Bay, Muğla Province with Geographic Information Systems and Remote Sensing Systems, 2003.

[2] Önce M., Yılmaz S. Investigation of Mucilage Hazard in the Marmara Sea Between Tekirdağ and Istanbul. European Journal of Science and Technology, 2024.

[3] Kavzoğlu T., Çölkesen İ., Sefercik U.G. Detection and Monitoring of Mucilage Events in the Marmara Sea Using Remote Sensing Technologies, Turkish Academy of Sciences, 2021.

[4] Altuntaş C., Tunaoğlu N. A study on the use and accuracy analysis of the GNSS-IR method in determining sea level changes. Geomatics, 2022.

[5] Alpaslan A.Ö. and Ortaçeşme V. Evaluation of Land Uses in the Side-Manavgat Coastal Section in Terms of Coastal Planning and Management. Akdeniz University Faculty of Agriculture Journal. Issue 22(2), pp.169-178.

[6] Cercis, İ. D. E. Kılıç, B. Ustaoğlu ve A. A. Dutucu. (2012).Analysing Landcover Change With RS and GIS Methods in the Elmacık Mountain and Its Surroundings, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, Vol. 29.2, pp. 891-900.

[7] Doygun H., Berberoğlu S., Alphan H. Determination of Land Use Changes in Burgaz Coastal Sand Dunes, Hatay, Using Remote Sensing Method. Ecology, 12(48), pp. 4-9.

[8] Ikiel C., Ustaoğlu B. Analysis of Coastline Change in the Eastern Part of the Sakarya Delta Using Geographic Information Systems and Remote Sensing Methods. Physical Geography Research: Systematic and Regional, Turkish Geographical Society Publications. S.6, Ss.485-494, İstanbul.

[9] Kezer A., Zaimoğlu Onat B. Modeling Sea Level Rise in Adana Province According to Climate Change Scenarios Using Remote Sensing - Geographic Information Systems Approchs, Assessment of Potential Agricultural Impacts. Journal of Agricultural Sciences, 2025.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INSTRUMENTAL AND METHODOLOGICAL ERRORS IN PRECISE ELEVATION DETERMINATION FOR ENGINEERING STRUCTURES*

NAYLYAN M. SALIEVA

ABSTRACT: *The article presents a comprehensive comparative analysis of conventional and modern methods for precise elevation determination for large-scale engineering structures, such as roads, dams and crane tracks. The study is motivated by the lack of a detailed and consistent regulatory framework in Bulgaria governing the selection of measurement methods and instruments, which creates a methodological gap in practice. The analysis suggests that no single measurement method is universally applicable and that the most reliable monitoring approach combines the geometric rigour of conventional optical surveying with the computational capabilities of modern remote sensing technologies.*

KEYWORDS: *Precise elevation determination; deformation monitoring; geometric levelling; trigonometric levelling; instrumental errors; GNSS; terrestrial laser scanning (TLS)*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26NMS

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ИНСТРУМЕНТАЛНИТЕ И МЕТОДИЧЕСКИТЕ ГРЕШКИ ПРИ ПРЕЦИЗНО ВИСОЧИННО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИНЖЕНЕРНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

НАЙЛЯН М. САЛИЕВА

АБСТРАКТ: *В статията е извършен задълбочен сравнителен анализ на класическите и съвременните методи за прецизно височинно определяне при мащабни инженерни съоръжения, като пътища, язовирни стени и подкранови релсови пътища. Изследването е мотивирано от липсата на детайлна и консистентна нормативна уредба в България относно избора на задължителна методика и инструментариум, което създава методологичен вакуум в практиката. Вследствие на това анализът дава основание да се твърди, че универсален измервателен метод не съществува, а най-надеждният подход за мониторинг изисква синергия между класическата строга геометрия на оптичните инструменти и изчислителната мощ на съвременните дистанционни технологии.*

1 Въведение

Дейностите по проектиране, строителство и експлоатационен мониторинг на линейни обекти и инженерни съоръжения са пряко свързани с необходимостта от точно определяне на пространственото и височинното положение на характерни точки. Развитието на транспортната, промишлената и енергийната инфраструктура поставя все по-високи изисквания към точността на геодезическите измервания и контрола на геометричните параметри на съоръжения като пътища, железопътни линии, язовирни стени и подкранови релсови пътища. Осигуряването на тяхната експлоатационна годност и конструктивна безопасност изисква спазване на определени допустими отклонения, тъй като несъответствията в геометричните характеристики могат да доведат до нарушения в

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

нормалната експлоатация, ускорено износване на конструктивни и механични елементи, както и до значителни икономически загуби [4], [5].

Въпреки развитието на съвременните геодезически технологии, нормативната уредба в България невинаги определя еднозначно конкретните методи и инструменти за извършване на височинни измервания при различните видове инженерни съоръжения. Законът за геодезията и картографията (ЗГК), чрез чл. 4, ал. 1 и чл. 24, ал. 2, регламентира специализираните геодезически дейности и изискванията към правоспособността на лицата, които ги изпълняват, но не определя конкретните измервателни технологии за всяка отделна инженерна задача. По отношение на пътищата Наредба № РД-02-20-2 от 2018 г. (чл. 279, ал. 3, т. 5) изрично конкретизира геометричната нивелация като метод за определяне на височините на подробните точки, докато Техническата спецификация на Агенция „Пътна инфраструктура“ (АПИ) от 2014 г. не указва конкретен метод за контрол на опорния полигон [6]. При подкрановите пътища Наредбата за безопасната експлоатация и техническия надзор на повдигателни съоръжения дефинира допустимите геометрични отклонения (Приложения № 2 и № 3), но не посочва квалификационните изисквания към лицата (например необходимостта от правоспособен инженер-геодезист) или задължителния инструментариум [5].

Тази липса на нормативна консистентност създава методологичен вакуум, който налага задълбочен експертен избор на подходяща геодезическа методика, съобразена едновременно с нормативните допуски, физичните ограничения на заобикалящата среда и характеристиките на наличния инструментариум. Изборът на метод за следене и контрол е критичен, тъй като в много от случаите традиционните методи за пространствено георефериране служат като единствената надеждна система за верификация на базовите параметри на подкрановата геометрия или за ранно индикиране на деформационни процеси при хидротехнически съоръжения [4], [5].

Настоящото изследване има за цел да оцени изчерпателно надеждността на класическите методи за височинно определяне – по-специално геометричната и площната тригонометрична нивелация. В допълнение, изследването съпоставя тези традиционни подходи с възможностите на съвременните дистанционни и спътникови методи за събиране на геопространствена информация, като глобалните навигационни спътникови системи (GNSS) в кинематичен режим в реално време (RTK) и наземното лазерно сканиране [1], [10].

Чрез синтез на теоретични модели, емпирични данни от директни геодезически измервания на хидротехнически съоръжения (яз. „Шуменско езеро“) и индустриални подкранови пътища, както и чрез диференциран анализ на инструменталните грешки, настоящото изследване предлага експлицитен и детайлен преглед на генезиса и трансмисията на девиациите в масовите измервания. Особено внимание се обръща на невидимите систематични грешки, породени от скритата амортизация на спомагателното оборудване (като луфтовете в алуминиевите телескопични лати), както и на съвместното влияние на атмосферната рефракция и кривината на Земята при индиректното височинно определяне [2], [12].

Обективната оценка на точността между класическите инструменти (дигитални нивелири от най-висок клас и роботизирани тотални станции с ъглова резолюция от 1 секунда) и съвременните цифрови технологии е фундаментална за гарантиране на структурната цялост на инженерните обекти. Прецизното определяне на височините в съвременното инвестиционно проектиране не е просто геометрична или математическа задача, а основополагащ фактор за превенция на конструктивни аварии, оптимизация на

дългосрочните експлоатационни разходи и осигуряване на устойчивостта на индустриалната инфраструктура.

2 Теоретична постановка: класически и съвременни измервателни методи

Изборът на метод за височинно определяне в геодезията се диктува от сложна комбинация от фактори: изискваната номинална точност, пространствения мащаб на обекта, топографските и климатичните условия, както и естеството на търсените структурни деформации (еластични или пластични). За да се анализират коректно резултатите от измерванията и да се оцени тяхната достоверност, е необходимо детайлно разбиране на теоретичните основи, физичните принципи на действие и източниците на грешки за всеки отделен метод.

2.1 Геометрична нивелация и систематични инструментални грешки

Геометричната нивелация е утвърдена като един от най-точните геодезически методи за определяне на превишения между точки от земната повърхност. При използване на специализирана и калибрирана апаратура – прецизни дигитални (електронни) нивелири и инварни баркод лати – точността може да достигне до стотни от милиметъра за единично превишение или под 0.2 mm/km за двойно измерен (прав и обратен) нивелачен ход [7].

Въпреки високата си номинална точност и концептуална простота, методът е силно уязвим към натрупването на систематични грешки. В класическата теория на грешките измервателните грешки се подразделят на груби, случайни и систематични в зависимост от свойствата и закономерностите на тяхното възникване [7]. Систематичните грешки се дефинират като такива, които по време на измервателния процес запазват своя знак и стойност или се изменят по определен математически или физичен закон. Класически източници на систематични грешки в геометричната нивелация са нехоризонталността на визирната ос (колимационна грешка), кривината на Земята, вертикалната атмосферна рефракция, неравномерното слягане на статива (или на самите точки) между отчетите „назад“ и „напред“, както и температурното разширение на материала на латите.

Грешката от кривината на Земята при геометричната нивелация се дължи на факта, че визирната ос описва хоризонтална равнина, докато ниво-повърхнината е крива. Тази грешка може да бъде аналитично изразена чрез формулата:

(1)

$$\Delta = \frac{S_1^2}{2R} - \frac{S_2^2}{2R} = \frac{\Delta S(S_1 + S_2)}{2R},$$

където S_1 и S_2 са дължините на визирните лъчи (към задната и предната лата), R е средният радиус на Земята, а ΔS е разликата в разстоянията до латите. Това уравнение математически доказва основното правило в нивелирането: ако разстоянията до предната и задната лата са строго равни ($S_1 = S_2$), систематичната грешка от кривината на Земята се елиминира напълно, независимо от нейната абсолютна стойност [7].

Отвъд тези известни физични фактори, критичен и изключително често пренебрегван източник на значителни систематични отклонения е амортизацията на спомагателното оборудване. Докато самият дигитален нивелир може да бъде в перфектно състояние, измервателната лата играе ролята на физическия еталон за дължина. Характерен пример за такъв проблем е появата на микроскопичен луфт в заключващите механизми (push buttons) на алуминиевите телескопични лати [12]. При разпъване на секциите на латата, дори при

сравнително ново оборудване (използвано само около година), механичното износване от триенето между алуминиевите профили води до характерно пропадане в зоната на сглобките. Това пропадане (субсиденция) между отделните части на латата води до прогресивно и еднопосочно нарастване на отчетената височина при измервания по стръмен или продължително наклонен терен. Спецификата на тази систематична грешка се състои в нейния латентен характер. Тя се проявява като валиден резултат при затваряне на нивелачния ход, тъй като сляганието на латата се компенсира симетрично, но с обратен знак при измервания в противоположна посока. Вследствие на това се генерира фиктивно малко несъвпадение (несвръзка) на хода, докато изчислените коти на междинните точки остават със значителни разлики [12].

2.2 Тригонометрична нивелация: принципи и ограничения

Тригонометричната нивелация се прилага като алтернативен класически метод за височинно определяне, особено при линейни обекти в пресечена планинска местност, където използването на геометрична нивелация е затруднено или икономически нецелесъобразно [6]. При този метод превишението се изчислява индиректно чрез тригонометрични функции въз основа на измереното пространствено наклонено разстояние (или хоризонтално положение) и зенитния ъгъл между станцията и наблюдаваната точка, отчетени чрез тотална станция.

Основните източници на систематични грешки при тригонометричната нивелация се разделят на две големи групи:

- **Инструментални и методически грешки:** Тук попадат индексната грешка на вертикалния кръг (грешката на нулевото положение), неточното измерване на височината на инструмента (J) и височината на сигнала/отражателя (h). Тъй като измерването на височината на инструмента често се извършва косо (от оста на въртене до точката на земята), се получава ексцентрицитет, който трябва да бъде коригиран математически чрез косинуса на ъгъла на наклона. Същият може да бъде изразен чрез формулата:

(2)

$$H = H' \cdot cos\alpha,$$

където H' е измерената наклонена височина с ролетка, а α е ъгълът на ексцентрицитета между измерената наклонена и отвесна височина на инструмента. Грешка от този тип може да внесе константно отклонение от порядъка на 3 mm [6].

- **Външни физични фактори (кривина на Земята и рефракция):** За разлика от геометричната нивелация, при която късите визури минимизират влиянието на средата, тригонометричната нивелация често разчита на визури от стотици метри. Съвместното влияние на кривината на Земята (която „понижава“ референтната повърхнина) и вертикалната атмосферна рефракция (която огъва визирния лъч надолу, вдлъбнато към земната повърхност, поради температурния градиент на въздуха) изкривява изчисленото превишение [2]. Това съвместно влияние може да бъде изразено чрез емпиричната формула:

(3)

$$f = \frac{1 - k}{2R} S^2,$$

където R е средният радиус на Земята (приблизително 6371 km), S е измереното хоризонтално разстояние, а k е коефициентът на вертикална рефракция на светлината. За географските ширини на България средната стойност на този коефициент се приема за k ≈ 0.106.

Анализът на това уравнение показва, че грешката нараства пропорционално на квадрата на разстоянието. Натрупване на систематична грешка от 1 mm се достига при дължина на визурата над 120 m. За минимизиране на атмосферните влияния геодезическата наука препоръчва измерването на вертикални ъгли да се извършва при най-малка динамика на температурата на въздуха и на постилащата повърхност (например рано сутрин или късно следобед), както и при максимално възможно отдалечаване на визирния лъч от самия терен, за да се избегнат приземните турбуленции [2].

2.3 Глобални навигационни спътникови системи (GNSS) и височинни системи

В съвременната академична литература многократно се изтъква необходимостта от задълбочен сравнителен анализ на резултатите от височинни измервания, за да се гарантира обективна оценка на точността между класическите оптични инструменти и GNSS технологиите при трасиране, заснемане и деформационен мониторинг на обекти [1], [14].

Един от фундаменталните проблеми при използването на GNSS за височинно позициониране е разликата в референтните повърхнини. Традиционно височините, получавани от GNSS измервания, са строго геометрични (елипсоидни) височини (Hг), отнесени към математическата повърхнина на глобалния референтен елипсоид (най-често WGS84 или GRS80) [13]. За нуждите на инженерното проектиране, строителството и хидрологията обаче се изискват физически височини, които са непосредствено свързани с посоката на силата на тежестта (гравитационното поле на Земята) и реалното ниво на водните маси.

В геодезическата практика най-широко приложение имат системата на ортометричните височини (H^0), отнесени към ниво-повърхнината на геоида, и системата на нормалните височини (H^N), отнесени към повърхнината на квазигеоида (каквато е Балтийската височинна система или съвременната Европейска височинна референтна система - EVRS) [13]. Връзката между елипсоидната, ортометричната и нормалната височина за дадена точка от земната повърхност се изразява чрез фундаменталната зависимост:

$$\boldsymbol{H^{\Gamma} = H^{0} + N = H^{N} + \zeta,} \tag{4}$$

където N е ондулацията на геоида (отстоянието на геоида от елипсоида), а ζ е аномалията на височината (отстоянието на квазигеоида от елипсоида). Разликата между повърхнината на геоида и квазигеоида ($\boldsymbol{H^N - H^0 = N - \zeta}$) зависи силно от надморската височина и гравитационните аномалии, като в екстремни планински условия (при височини около 9000 m) тази разлика може да достигне до 4.5 метра, докато над световния океан двете повърхнини съвпадат напълно [13].

За да се използват ефективно GNSS технологиите (особено двучестотни приемници в режим Real-Time Kinematic - RTK) за прецизно височинно определяне на инфраструктурни обекти, е абсолютно необходимо локално моделиране на геоида/квазигеоида. При липса на прецизен национален модел, това най-често се реализира на локално ниво чрез полиномна трансформация на височините, базирана на достатъчен брой локални контролни точки с предварително известни нормални височини, определени чрез класическа геометрична нивелация. Числеността интерполиране на височините се осъществява чрез повърхнинни модели от първа, втора или трета степен.

Модел от първа степен (равнина):

$$\boldsymbol{H^{\Gamma} = H^{N0} + c_0 + c_1 x + c_2 y} \tag{5}$$

Модел от втора степен (параболоид):

$$H^{\Gamma} = H^{N0} + c_0 + c_1 x + c_2 y + c_3 x^2 + c_4 xy + c_5 y^2 \quad (6)$$

Модел от трета степен:

$$H^{\Gamma} = H^{N0} + c_0 + c_1 x + c_2 y + c_3 x^2 + c_4 xy + c_5 y^2 + c_6 x^3 + c_7 x^2 y + c_8 xy^2 + c_9 y^3 \quad (7)$$

Успехът на тази трансформация дефинира доколко GNSS резултатите ще бъдат приложими за инженерни цели.

2.4 Деформационен мониторинг и съвременни дистанционни методи

Хидротехническите съоръжения (язовирни стени, водноелектрически централи, водохващания) и специализираните линейни структури се намират под постоянното или периодично въздействие на редица деструктивни фактори: климатични промени, променлив хидростатичен и хидродинамичен натиск на водните маси, тектонски движения на земната кора, както и антропогенни фактори. В резултат на това в съоръженията настъпват изменения, класифицирани като еластични (обратими огъвания и усуквания след премахване на товара) и пластични (перманентни потъвания, наклонявания, плъзгания и напуквания), които представляват директна заплаха за сигурността. Интеграцията на различни геодезически технологии за надежден мониторинг на тези деформации е задължителна [4], [11].

Освен класическите контактни методи, през последното десетилетие наземното лазерно сканиране (Terrestrial Laser Scanning - TLS) се утвърждава като високоефективна алтернатива за 3D обследване на сложни обекти. Лазерните геодезични системи автоматизират изцяло процеса на събиране на пространствени данни и осигуряват безпрецедентна геометрична детайлност чрез генериране на изключително плътни облаци от точки. Тези системи изпращат стотици хиляди лазерни импулси в секунда, измервайки разстоянието въз основа на времето на полет (time-of-flight) или фазовото отместване на отразения сигнал, създавайки прецизни цифрови двойници на реални обекти [3].

При технологията на лазерното сканиране ключов математически и практически етап е външното ориентиране на отделните сканирания, т.е. преобразуването на локалната инструментална координатна система на скенера ($O_{ck}\, X_{ck}\, Y_{ck}\, Z_{ck}$) в глобална или проектна външна координатна система ($OXYZ$) [9], [10]. Трансформацията на координатите се изпълнява чрез фундаменталното уравнение:

$$\begin{bmatrix} X_{\text{вън}} \\ Y_{\text{вън}} \\ Z_{\text{вън}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + A \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (8)$$

където A е матрицата на ротация, съдържаща косинусите на посоките ($a_1, a_2, \ldots, c_3$), които са тригонометрични функции на ъглите на Ойлер (α, β, γ), дефиниращи пространственото завъртане.

Ориентирането в практиката се осъществява по два основни метода:

- **Инструментален (директен) метод:** Скенерът се центрира и нивелира физически над контролна точка с известни координати. Линейните параметри (X_0, Y_0) се задават чрез лазерен отвес (със средна грешка при центриране от 1.5 до 3 mm), а височината (Z_0) се измерва ръчно (грешка 2 до 5 mm). Ъгловите елементи се коригират чрез вградени двуосни

компенсатори, чиято точност при съвременните скенери варира от 1" до 5" [10]. Предимствата са в скоростта и липсата на допълнителен инвентар, но методът е труден за прилагане при заснемане на високи и сложни конструкции поради изискванията за пряка видимост.

- **Аналитичен метод:** Елементите на външно ориентиране се изчисляват чрез решаване на пространствена обратна задача (засечка) спрямо специални сканирани марки (сфери или таргети) с известни координати във външната система [9], [10]. Този метод позволява накланяне на вертикалната ос на скенера под произволен ъгъл (до 180°) за елиминиране на оптични „мъртви зони“, но изисква използването на допълнителен геодезически инструментариум (прецизни тотални станции) за предварително координиране на марките, което усложнява полевата работа и увеличава теглото на оборудването с 13-18 kg.

Въпреки високата информационна плътност и възможностите за анализ, при строго линейни обекти като подкранови релсови пътища методът на лазерното сканиране все още среща трудности да постигне субмилиметровата точност на класическите методи за отделна, специфична контролна точка. Основният проблем произтича от факта, че за да се извлекат данни за геометричната ос на релсата, тя трябва да бъде софтуерно моделирана и интерполирана от върнатия облак точки, а не измерена директно, което въвежда допълнителна алгоритмична несигурност и зависимост от ъгъла на падане на лазерния лъч [5], [9].

3 Инструментариум, експериментална постановка и алтернативни подходи

Изработването на надеждна и защитима измервателна методология изисква изключително прецизен подбор на хардуерен инструментариум, съчетан с правилно пространствено планиране на базовите мрежи. Експерименталните постановки, разгледани в доклада, обхващат разнообразни сценарии – от университетски полигони до реални инфраструктурни обекти в експлоатация.

3.1 Изграждане на работна геодезическа основа (РГО)

Според фундаменталните принципи на инженерната геодезия (преминаване „от общото към частното“), първата и най-критична стъпка при мониторинга е правилното построяване на опорната мрежа [8]. При обследване на индустриални подкранови пътища, изграждането на стабилна работна геодезическа основа трябва задължително да се извършва извън зоните на интензивна товаро-разтоварна дейност, за да се гарантира физическото запазване на стабилизираните геодезически знаци и да се елиминира влиянието на тежките вибрации върху измервателната апаратура по време на работа [5].

При хидротехнически съоръжения (като яз. „Шуменско езеро“), точките от опорната мрежа се разполагат извън зоната на очакваните микросеизмични или пластични деформации и се стабилизират с масивни бетонови стълбове, в чиято горна част се вграждат устройства за принудително центриране на инструмента. Когато такива липсват, се използват специализирани тежки метални поставки (геодезически статив за принудително центриране), за да се елиминира грешката от центриране с тринога [4].

При геодезическото осигуряване на подкранови пътища в закрити промишлени халета се препоръчва работната геодезическа основа (РГО) да обхваща периферно контролирания обект. Координатното определяне на релсовия път следва да се извършва чрез метода на свободната станция (пространствена линейно-ъглова засечка). За да се гарантира хомогенност на точността, се спазват строги геометрични условия – не се допускат

отношения между измерени ъгли и дължини по-големи от 1:5, а отражателните марки се ориентират перпендикулярно към очакваната позиция на инструмента, за да се избегне приплъзване на лазерния лъч и ексцентрично измерване [5].

3.2 Инструментариум за геометрична нивелация

При геометричната нивелация върховата прецизност се постига чрез използване на висококласни дигитални (кодови) нивелири в комплект с еталонни инварни или сертифицирани алуминиеви баркод лати [12]. В представените изследвания на инфраструктурни обекти във Варна и Шумен са използвани различни конфигурации от най-висок клас.

Анализиран е дигиталният нивелир Trimble DiNi 07, който, съгласно фабричните спецификации, декларира изключителна точност от 0.7 mm/km при използване на инварна баркод лата и 1.3 mm/km при работа със стандартна телескопична баркод лата. Негов директен алтернативен инструмент, тестван в същите условия, е Topcon DL-502, постигащ номинална точност от 0.6 mm/km с инварна и 1.0 mm/km със стандартна алуминиева телескопична лата [12]. Допълнително при мониторинга на вертикални деформации на хидротехнически обекти, успешно е приложен дигитален нивелир SOKKIA SDL30, осигуряващ стандартна грешка от 1.0 mm/km при двоен ход чрез използване на специализирани RAB-кодови лати от фибростъкло [4].

От критично значение за целия процес е физическото състояние на инвентара. Докато инварните лати са изработени от специална никел-желязна сплав, която е монолитна и изключително резистентна към термично разширение (практически нулев коефициент на линейно разширение) [7], алуминиевите телескопични лати са предразположени към сериозно механично износване на свързващите сегменти. Както бе посочено в теоретичната част, липсата на строг периодичен метрологичен контрол върху физическото състояние на тези алуминиеви лати може да компрометира и обезсмисли данните дори от най-точния и скъп дигитален нивелир [12].

3.3 Високоточни роботизирани тотални станции

Прецизните мониторингови измервания, като площната тригонометрична нивелация и определянето на фини хоризонтални деформации, налагат използването на роботизирани тотални станции от най-висок клас с ъглова точност от 1 секунда (1"). Тези съвременни системи интегрират високоточни електронни далекомери и усъвършенствани технологии за директно моторно задвижване, които елиминират механичното износване и осигуряват надеждно, високоскоростно проследяване на целта на големи дистанции.

Критичното значение на 1-секундните инструменти се изразява в минимизирането на случайните и елиминирането на систематичните грешки при отчитане на зенитни ъгли на дълги визури. За разлика от масово използваните в практиката станции с точност между 2" и 5", при които индексната грешка може да достигне 20-30cc, моделите от най-висок клас осигуряват ненадминатата стабилност на резултата. Влиянието на тази разлика е осезаемо – на разстояние от 170 метра вариация от 30cc във вертикалния ъгъл генерира височинна грешка от 5 до 8 mm (при наклон на визурата между 94g и 106g) [6]. Тези стойности категорично подчертават фундаменталното предимство на свръхвисокия клас апаратура за гарантиране на дългосрочна надеждност на данните при тежки полеви условия.

3.4 Сигнализиране и визиране при тригонометрична нивелация

Начинът на сигнализиране (маркиране) на подробните точки е не по-малко важен от самия измервателен инструмент. При изследване на експлоатирани подкранови пътища контактът на измервателния уред е директно с главата на релсата, която е подложена на огромно налягане от ходовите колела на крана. В резултат на това главата на релсата често

се износва неравномерно и асиметрично в горната си част (т.нар. странично износване), докато долната част запазва проектната си ширина [5]. Опитът да се определи геометричният център на оста на такава деформирана релса със стандартни шублери с къси рамена води до грешки. За правилно дефиниране на центъра на оста се налага използването на прецизни шублери с дълги челюсти или специализирани магнитни адаптори с вградени либели и строго фиксирана височина [5].

Допълнителен проблем възниква при наличие на надлъжен наклон на подкрановия път (обикновено до 0.3% при външни козлови кранове). Поставянето на висок измервателен сигнал (над 0.33 m) върху наклонена повърхност води до ексцентрично изместване на центъра на призмата спрямо реалната точка на контакт, което се изчислява по синусовата теорема ($a = \frac{\sin \alpha \cdot c}{\sin \zeta}$) и може да генерира планова грешка над 1 mm [5].

При площната тригонометрична нивелация използването на специализиран отражател тип „минипризма“ с малък диаметър на оптиката (обикновено около 30 mm) е задължително. Този тип призми осигуряват далеч по-прецизно оптично насочване в геометричния център на сигнала спрямо стандартните топографски призми (с диаметър 70 mm) [6]. Това директно и позитивно рефлектира върху точността на изчисленото превишение, намалявайки до минимум дисперсията на случайните грешки при насочване от страна на оператора.

3.5 Спътникова апаратура и експериментална мрежа

В експерименталните постановки за оценка на GNSS възможностите са използвани съвременни двучестотни приемници от марката Trimble. При изследването на геодезическата база в района на Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“ са заснети 35 детайлни точки, координирани първоначално чрез класически полярен метод (Leica TCR 405) в координатна система 1970 г. и Балтийска височинна система, след което са трансформирани в BGS 2005 - UTM зона 35 [1], [14]. За сравнение, същите точки са наблюдавани с GNSS роувър в RTK режим чрез перманентната мрежа на Trimble "Geonet", с интервал на запис 1 s и продължителност на сесията от 60 секунди [1], [14].

Аналогична постановка е реализирана и при изследването на яз. „Шуменско езеро“, където 20 контролни точки по протежение на язовирната стена са наблюдавани с роувър Trimble R4 и локална базова станция Trimble R8 [11]. Заявената от производителя точност за PPK (Post-Processed Kinematic) и RTK е 8 mm + 1 ppm хоризонтално и 15 mm + 1 ppm вертикално, а векторите са обработени специализирано в софтуерната среда Trimble Business Center.

4 Заключение

Интегрираният анализ на инструменталните и методическите грешки при прецизно височинно определяне на сложни инженерни съоръжения недвусмислено доказва, че универсален, технологично съвършен „идеален“ метод в геодезията не съществува. Изборът на измервателна технология трябва да бъде гъвкав, адаптивен и дълбоко информиран относно базисните физични, оптични и хардуерни ограничения на съответната система.

Геометричната нивелация заслужено запазва статута си на утвърден еталон за вертикална точност, но нейната надеждност може да бъде сериозно компрометирана, ако не е подплатена с педантичен, постоянен метрологичен контрол на инвентара. Както бе доказано чрез полевите тестове във Варна, скритите механични дефекти в спомагателното оборудване (като луфтовете в измервателните телескопични лати) генерират значителни, структурно опасни систематични грешки, които остават напълно невидими зад иначе

стриктното математическо затваряне на нивелачния ход [12]. За отговорни инженерни задачи, мониторинг на язовирни стени и прецизно строителство инвестирането в инварни лати и тяхното използване е технологична необходимост [4], [12].

Тригонометричната нивелация от своя страна разполага с пълния физически потенциал да осигури необходимата милиметрова точност при обследване на линейни обекти, но само при категоричното условие, че се съблюдават строги методически правила. Ограничаването на дължината на визурите до критичния праг от 30 до максимум 100 метра е абсолютно задължително [6]. Чрез това пространствено ограничение напълно се елиминират нелинейните атмосферни ефекти (термална рефракция) и геометричното влияние на кривината на Земята, а задължителното използване на минипризми преодолява сериозните геометрични ограничения на оптиката на телескопа [6].

Използването на съвременни роботизирани тотални станции с екстремна ъглова резолюция (1 секунда, като флагмана Topcon GT-1501), интегриращи прецизни безчеткови двигатели за плавно проследяване, допълнително стабилизира тригонометричния метод. Подобен хардуер свежда вътрешните инструментални грешки под прага на статистическата значимост за съответните къси разстояния, превръщайки тригонометричната нивелация в пълноправен заместител на геометричната в тежки индустриални условия [6].

От своя страна, GNSS технологиите и наземното лазерно сканиране (TLS) безспорно революционизират масовото събиране на пространствени данни. Те предоставят изключително богат, цялостен 3D пространствен контекст, който е напълно недостижим за класическите точкови дискретни методи [9], [10]. Съвременните технологии обаче изискват сложни математически трансформации – като нелинейно полиномно моделиране на квазигеоида при GNSS и аналитично ротационно ориентиране чрез матрици на Ойлер при TLS – които добавят допълнителни, трудно контролируеми вектори на изчислителна несигурност. Към настоящия момент, според академичния консенсус, тези технологии са изключително полезни за макро-деформационен мониторинг и създаване на цифрови двойници, но самостоятелното им използване за милиметров контрол на вертикални отклонения остава технологично нецелесъобразно [9], [11], [14].

В обобщение, комбинирането на прецизни тотални станции с висока ъглова резолюция и алтернативни методи за дистанционно наблюдение предлага най-надеждния, научно обоснован и цялостен подход за диагностика и мониторинг на инженерни деформации. Синергията между класическата строга геометрия на оптичните инструменти и изчислителната мощ на съвременните дистанционни сензори гарантира както абсолютната прецизност в критичните възли на конструкцията, така и цялостния инспекционен контрол върху структурната динамика на мащабни индустриални и инфраструктурни обекти.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Андреев А., Михайлов Пл., Стойков Е. Сравнителен анализ на получените резултати от височинни измервания по различни методи. MATTEX 2016: Сборник научни трудове, том 2, 2016, ISSN 1314-3921, стр. 129-134.

[2] Вълчинов В. Земна рефракция и геодезическите измервания, София, 2023, ISBN 978-619-92537-0-0.

[3] Беджева М. Дистанционни методи в геодезията. Национален военен университет „Васил Левски“, 2022, ISBN 978-954-753-352-3.

[4] Добрев Ст. Анализ на геодезичните методи за изследване на деформациите на хидротехнически обекти. MATTEX 2018: Сборник научни трудове, том 2, 2018, ISSN 1314-3921, стр. 147-156.

[5] Иванов И. Геодезически дейности при поддържане на подкранови пътища. Сборник с доклади от XXXIV международен симпозиум - съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области, София, 2024, ISSN: 2367-6051, стр. 124-134.

[6] Иванов И. Тригонометричната нивелация в проектирането и строителството на линейни обекти. MATTEX 2024: Сборник научни трудове, том 2, 2024, ISSN 1314-3921, стр. 247-252.

[7] Маждраков М., Иванова Ил. Геодезия: Обща геодезия. Шумен: Университетско издателство „Еп. Константин Преславски“, 2014, ISBN 978-954-577-987-9.

[8] Ниязи-Юсуф М. Контрол на работната геодезическа основа. Годишник на Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“, том XIII Е, 2023, ISSN: 1314-8818, 120-123 стр.

[9] Янчев К. Лазерното сканиране – постижимата прецизност в областта на фотограметрията, дистанционното наблюдение и геодезията. Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, 2022, ISBN 978-619-201-573-2.

[10] Янчев К., Кирилова К. Наземно лазерно сканиране. MATTEX 2022: Сборник научни трудове, том 2, 2022, ISSN: 1314-3921, стр. 226-230.

[11] Dobrev S. GNSS technology for research of deformations of hydrotechnical installations. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 27, 2024, ISSN 1314-6289, pp. 30-36.

[12] Ivanov I. Errors when using telescopic survey staff in geometric leveling. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 29, 2025, ISSN: 1314-6289, pp. 31-39, doi: https://doi.org/10.46687/jsar.v29i1.450.

[13] Kirilova K., Yanchev K. About the choice of parameters when representing the normal earth as a reference frame in geodesy. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 24, No. 1, 2023, ISSN 1314-6289, pp. 11-16.

[14] Stoykov E. Assessment of the accuracy of surveying and tracing of objects by classical and GNSS method. Годишник на Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“, том IX Е, 2019, ISSN: 1311-834X, 25-29 стр.

DESCRIPTION OF A MULTI-STAGE MODEL FOR TEACHING MATHEMATICAL MODELLING

VALENTINA P. TODOROVA-LAZAROVA

ABSTRACT: *This paper proposes a seven-stage model for teaching mathematical modelling in engineering education. The model integrates into a unified sequence the analysis of a real-world problem, formulation of assumptions, construction of a mathematical model, analytical investigation, computer implementation, visualization, and parametric analysis. The correspondence between the individual stages and the mathematical, computational, and engineering competencies developed through them is described. The role of specialized software tools in supporting the investigation, analysis, and interpretation of mathematical models is also discussed. The applicability of the proposed model is illustrated through an example of a dynamical system.*

KEYWORDS: *mathematical modelling, engineering systems, computer simulation, visualization, parametric analysis, dynamical systems, problem solving*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26VPT

ОПИСАНИЕ НА МНОГОЕТАПЕН МОДЕЛ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ

ВАЛЕНТИНА П. ТОДОРОВА-ЛАЗАРОВА

АБСТРАКТ: *В публикацията е предложен седеметапен модел за обучение по математическо моделиране, предназначен за инженерното образование. Моделът обединява в единна последователност анализ на реален проблем, формулиране на предположения, изграждане на математически модел, аналитично изследване, компютърна реализация, визуализация и параметричен анализ. Описано е съответствието между отделните етапи и формираните математически, изчислителни и инженерни компетентности. Разгледана е ролята на специализирани софтуерни средства като средство за подпомагане на изследването, анализа и интерпретацията на математическите модели. Приложимостта на предложения модел е илюстрирана чрез пример за динамична система.*

1 Въведение

Способността за математическо моделиране намира широко приложение в природните, инженерните, икономическите и социалните науки. Тя свързва теоретичния математически апарат с реални практически задачи. Моделирането представлява превод на наблюдавано поведение на реална система в съответстваща математическа формализация. Изследването на модела позволява формулиране на изводи за поведението, устойчивостта и възможните сценарии за развитие на системата.

В инженерното образование тази способност се изгражда на базата на познания от няколко самостоятелни дисциплини. Студентите изучават диференциални уравнения в курса по математика. Собствените стойности и собствените вектори се изучават в курса по линейна алгебра. Числените методи за решаване на диференциални уравнения се изучават в отделна дисциплина. За разлика от специалностите по математика, където математическото моделиране се изучава като самостоятелна дисциплина, в инженерните програми такъв интегриращ курс обикновено отсъства. Тази организация на обучението затруднява изграждането на цялостна представа за математическото моделиране като единен процес.

Целта на настоящата статия е предлагането на седеметапен модел, който преодолява тази фрагментация. Моделът обединява в единна логическа последователност всички основни дейности на моделиращия цикъл. Той е описан като методическа рамка, независима от конкретния учебен пример. Приложимостта му е илюстрирана накратко чрез динамична система от типа Волтера-Лотка, чието подробно разглеждане е дадено в отделна публикация [1].

2 Теоретични основи

Математическото моделиране свързва математическия апарат с реални инженерни и природни процеси [3–5]. Чрез него абстрактните математически понятия получават конкретна приложна интерпретация.

Фрагментацията на учебното съдържание се отразява и на самия процес на моделиране. Според редица автори традиционното преподаване на математически техники извън приложен контекст създава затруднения при формирането на цялостна представа за моделирането [4]. Студентите усвоявайки отделни методи по-трудно разбират връзките между тях. В резултат на което, процесът на моделиране често се възприема като поредица от несвързани действия, а не като единен цикъл на формулиране, анализ, проверка и интерпретация.

Един от методите за преодоляване на това затруднение е чрез проблемно-базирано обучение (problem-based learning, PBL) [6, 7]. Съвременните подходи в обучението разглеждат и възможностите за интегриране на практически дейности в учебния процес [18]. В центъра на учебния процес стои реален или реалистичен проблем. Решаването му изисква прилагане на различни дисциплини в естествена последователност. Предимството на PBL е, че математическият апарат се разглежда като средство за решаване на конкретен проблем [6, 7]. Диференциалните уравнения, линейната алгебра и числените методи придобиват ясно практическо приложение.

MATLAB и сходните изчислителни среди се използват широко в инженерното образование [8, 9]. Приложението на съвременни технологии в учебния процес се разглежда и от педагогическа гледна точка [19]. Те предоставят средства за числено решаване на диференциални уравнения, визуализация на резултатите и провеждане на параметрични изследвания. Използването им позволява съпоставяне на аналитичните и числените резултати. По този начин абстрактните математически понятия получават визуална интерпретация [9].

Литературният преглед показва, че интегрирането на математическо моделиране, аналитично изследване и компютърна реализация създава условия за развитие на математическа, изчислителна и инженерна подготовка. Настоящата разработка се вписва в тази насока, като предлага конкретна методическа рамка за реализация на този интегриран подход в инженерното образование.

3 Многоетапен модел за обучение по математическо моделиране

А. Съотношение със стандартния цикъл

В дидактиката на математическото моделиране е утвърден цикличен модел, описван чрез няколко последователни стъпки [3, 4]. Обикновено те включват формулиране на реален проблем, изграждане на математически модел, аналитична обработка, интерпретация на резултатите и проверка на модела. Валидирането представлява съпоставяне на резултатите с реалната ситуация. При необходимост то води до връщане към предходни стъпки. Този модел е известен като моделиращ цикъл на Blum-Leiß.

Моделиращият цикъл предоставя обща рамка за описание на процеса на математическо моделиране. При обучението на инженери обаче възникват специфични особености, свързани с характера на разглежданите модели и с организацията на учебния процес. Изграждането и изследването на инженерни модели изисква едновременно използване на знания от диференциални уравнения, линейна алгебра, числени методи и компютърно моделиране. Поради това възниква необходимост от детайлно структуриране на отделните етапи на моделиращия процес.

Първата причина засяга стъпката за аналитичната обработка. Тя обединява две дейности с различен характер: аналитично изследване на системата и числена реализация чрез изчислителна среда. Аналитичното изследване разчита на апарата на линейната алгебра и теорията на устойчивостта. Числената реализация изисква умения от програмиране и числени методи. Тези области се преподават в отделни дисциплини. Обединяването им в една стъпка затруднява проследяването на връзката между аналитичните и изчислителните аспекти на моделирането.

Втората причина засяга липсата на самостоятелна стъпка за параметричен анализ. В инженерната практика изследването на чувствителността на системата към промяна на параметрите представлява самостоятелна аналитична дейност. То не следва автоматично от числената реализация, а изисква формулиране и анализ на различни сценарии. Чрез него се оценява поведението на системата при изменение на външни условия или проектни параметри и се подпомага инженерното вземане на решения. Отделен пример за приложно изчислително изследване в геодезията е определянето на ъгловата точност при трасиране на центровете на мостови стълбове [13].

Третата причина засяга стъпката за формулиране на реалния проблем. В стандартния цикъл тя обединява две различни по характер дейности: качествен анализ на ситуацията и количествено дефиниране на променливи, параметри и предположения. Практиката показва, че именно преходът между тези две дейности създава затруднения за студентите.

Разграничаването им като отделни етапи прави процеса на преминаване от реалния проблем към математическия модел по-ясен и по-проследим.

Предложеният модел представлява адаптация на стандартния моделиращ цикъл към условията на инженерното образование. Адаптацията се основава на три изменения. Първото е разделяне на формулирането на реалния проблем на два самостоятелни етапа – анализ на проблема и формулиране на предположения с избор на променливи. Второто е разделяне на математическата обработка на аналитично изследване и компютърна реализация. Третото е включване на самостоятелен етап за параметричен анализ и прогнозиране. В резултат се получава седеметапен модел, който прави по-явни връзките между математическата подготовка, компютърната реализация и приложния инженерен анализ. Структурата на предложения модел е представена на Фиг 1.

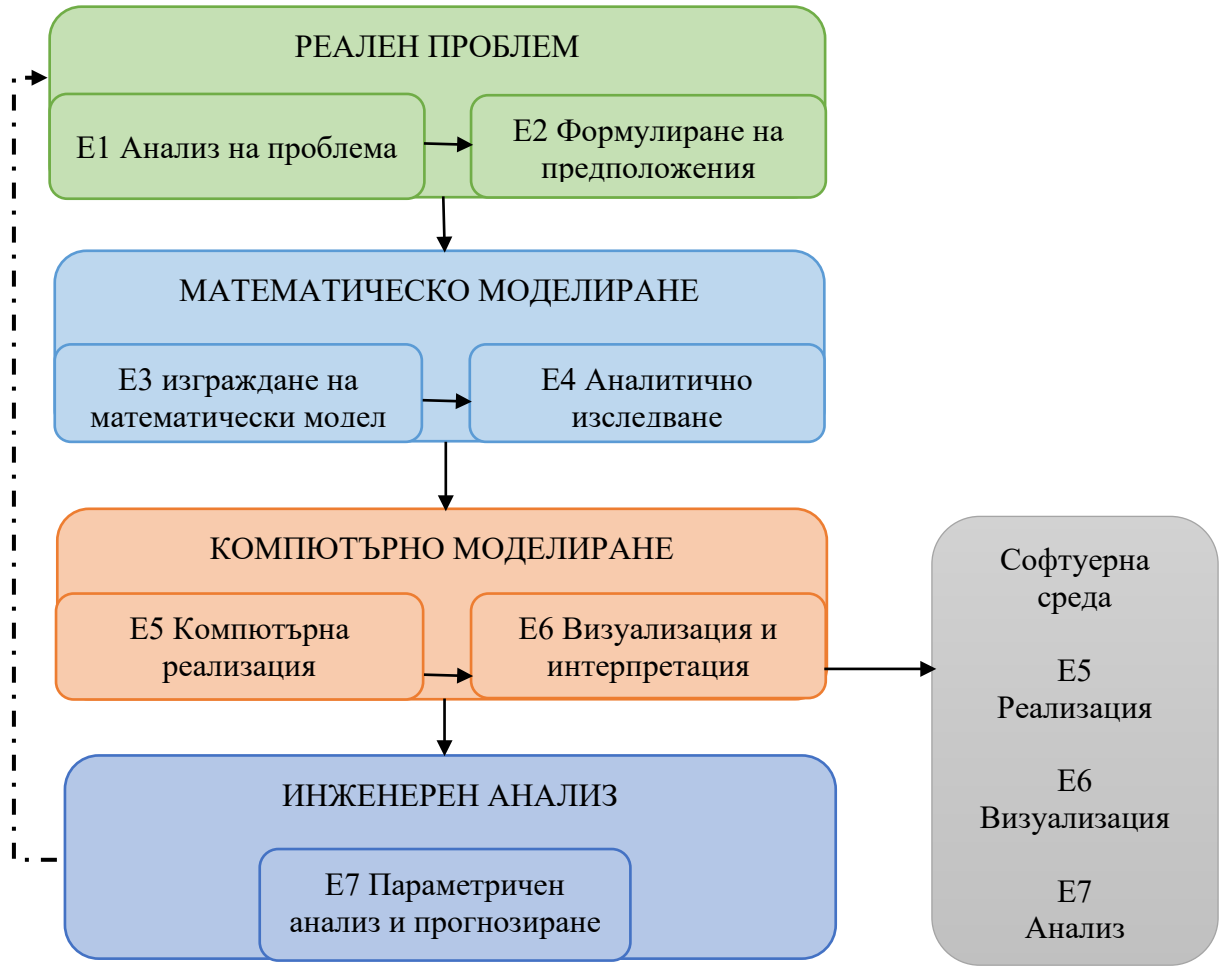
Б. Описание на седемте етапа

Всеки следващ етап разчита на резултатите от предходния и подготвя материала за следващия. Предложените седем етапа образуват затворен цикъл, а не линейна последователност. Крайният етап може да постави нови въпроси, водещи до преразглеждане на предположенията от Етап 2.

– **Етап 1. Анализ на реален проблем**

Целта е студентът да придобие умение за разпознаване на структурата на реален проблем и да определи на величините, подлежащи на моделиране. Студентите формулират изследваната ситуация на словесно ниво. Идентифицират основните компоненти на

системата. Анализират насочеността на взаимодействията между тях – взаимно усилване или взаимно потискане. Резултатът е словесно описание на проблема и качествена представа за характера на взаимодействията.



Фиг. 1. Седеметапен модел за обучение по математическо моделиране

Основна обратна връзка: резултатите от параметричния анализ могат да доведат до преразглеждане на предположенията (Етап 2)

При необходимост: резултатите могат да доведат до нов анализ на проблема (Етап 1)

– **Етап 2. Формулиране на предположения и избор на променливи**

На този етап студентите преминават от качественото описание на проблема към неговото количествено представяне. Дефинират променливите на състоянието на системата. Определят техния смисъл и мерни единици. Въвеждат параметрите, чрез които се описват основните характеристики на процеса. Формулират предположения за характера на зависимостите между величините. Без тези предположения построяването на модел в следващия етап не би било възможно. Резултатът е списък от променливи, параметри и предположения, служещ като основа за формалния математически запис на модела.

– **Етап 3. Изграждане на математически модел**

Целта е преводът на словесните предположения в математически модел. Въз основа на предположенията от Етап 2 студентите описват скоростите на изменение на променливите чрез обикновени диференциални уравнения. При това те използват понятието за производна като скорост на изменение. Резултатът е формален математически запис на разглежданата система, готов за последващо аналитично изследване.

– **Етап 4. Аналитично изследване**

Целта е изследване на качественото поведение на системата чрез аналитични методи, подходящи за конкретния тип модел. Студентите намират равновесните състояния на системата и анализират тяхната устойчивост. При линейни системи устойчивостта се определя директно от собствените стойности на матрицата на системата. При нелинейни системи се построява матрицата на Якоби и се изследва линеаризацията в околността на равновесните точки. Прилагат се знания от линейна алгебра и от теорията на обикновените диференциални уравнения. Очакваният резултат е качествена характеристика на поведението на системата в околността на равновесните състояния.

– **Етап 5. Компютърна реализация**

На този етап математическият модел от Етап 3 се превръща в изчислителна програма. Студентите записват модела във вид, подходящ за обработка в избрана изчислителна среда. Задават параметрите, началните условия и времевия интервал на симулация. Използват подходяща функция за числено решаване на диференциални уравнения – например ode45 в MATLAB. Това е моментът, в който за първи път се осъществява пряка връзка между математическия модел и неговата компютърна реализация. Очакваният резултат е работеща програма, генерираща числено решение на системата. Синтезът на симулационни модули е разгледан в [2], програмните среди за начинаещи в [10], а реализацията на компютърна лаборатория с MATLAB-GUIDE в [17].

– **Етап 6. Визуализация и интерпретация**

Целта е графично представяне на численото решение и съпоставянето му с аналитичните резултати от Етап 4. Студентите построяват графики на решенията като функции на времето и фазов портрет на системата. Съпоставят формата на фазовите траектории с качественото поведение, определено аналитично. Получените графики се интерпретират във връзка с разглеждания реален проблем. Очакваните резултати са набор от графики и текстова интерпретация, свързваща математическите резултати с приложния смисъл на системата.

– **Етап 7. Параметричен анализ и прогнозиране**

Последният етап изследва чувствителността на системата към промяна на един или няколко параметри. Студентите изпълняват модела многократно при различни стойности на избран параметър. Съставят сравнителни графики и таблици. Формулират изводи от типа <<какво ще се случи, ако...>>. Резултатът е сравнителен анализ, представен графично и текстово, и формулирани изводи за практическата интерпретация.

4 Ролята на изчислителната среда в модела

Ролята на изчислителната среда в предложения модел не се ограничава до изпълнение на числени изчисления. Тя изпълнява две взаимно свързани дидактически функции.

Първата функция е свързана с Етап 5 – компютърна реализация. На този етап математическият модел се преобразува в изпълним алгоритъм. Студентите задават

параметри и начални условия и реализират численото решаване на системата. По този начин те преминават от математически запис към работещ компютърен модел.

Втората функция е свързана с връзката между Етап 4 и Етап 6. Аналитичните резултати от изследването на системата се съпоставят с числено получените решения. Например типът на равновесната точка, определен аналитично, може да бъде потвърден чрез фазовия портрет. Тази проверка се осъществява чрез графичните средства на избраната среда.

Без подобно съпоставяне аналитичните резултати остават абстрактни за значителна част от студентите. Визуализацията улеснява разбирането на връзката между математическия анализ и поведението на системата. Студентите получават непосредствена обратна връзка за коректността на своите изводи. Отделни примери за използване на технологии в обучението са приложението на ИИ в геодезията [11] и компютърната дидактична програма за код на Хеминг [12].

Следователно изчислителната среда изпълнява не само ролята на инструмент за числена реализация, но и ролята на средство за проверка и интерпретация на резултатите. В този смисъл тя заема по-широко място в предложения модел, отколкото в стандартните описания на моделиращия цикъл.

5 Област на приложение на модела

Предложеният модел е приложим към широк клас задачи от инженерната математика и приложните науки. Общото изискване е задачата да описва динамична система с взаимодействащи величини, чието поведение може да се формализира чрез система от обикновени диференциални уравнения.

Популационна динамика – взаимодействие между две популации от типа хищник–жертва или конкуренция за ресурс. Тези задачи представляват класическа област на приложение на системи от типа Волтера-Лотка.

Инженерни и екологични процеси – взаимодействие между производствен процес и регулаторен или екологичен натиск. Такива задачи въвеждат студентите в реалистичен приложен контекст и допускат смислен параметричен анализ. Примери за инженерно моделиране са анализът на спирачното забавяне с MATLAB [14], моделирането на преходни процеси в електрическа верига с обобщена мрежа [15] и моделирането на безопасно разстояние между превозно средство и пешеходец с интерактивна визуализация [16].

Епидемиологични модели – разпространение на инфекция в популация от типа SIR или SEIR. Те имат ясна структура на взаимодействие и добре дефинирани равновесни състояния.

Икономически взаимодействия – пазарни дялове или ресурсна конкуренция между два субекта. Формализацията е структурно сходна с популационните модели и допуска аналогично аналитично изследване.

Приложимостта на модела е илюстрирана чрез динамична система от типа Волтера–Лотка, описваща взаимодействието между индустриален процес и екологично-регулаторен натиск. Подробното разглеждане – математическото извеждане, аналитичните резултати, програмният код и параметричният анализ – е представено в отделна публикация [1].

6 Учебни резултати

Преминаването през седемте етапа формира у студентите комплекс от умения. Те обхващат отделни математически и изчислителни компоненти, включително способността за цялостно инженерно моделиране. Таблица 1 представя съответствието между отделните

етапи на предложения модел, придобитите умения и учебните области, в които те се развиват.

Важно е да се отбележи, че тези умения не се формират изолирано, а се надграждат последователно. Аналитичното изследване в Етап 4 осигурява математическата основа за компютърната реализация в Етап 5 и за визуалната интерпретация в Етап 6. Параметричният анализ в Етап 7 изисква едновременно използване на резултатите от аналитичното изследване и компютърната реализация. По този начин моделът създава връзки между съдържанието на отделни дисциплини като диференциални уравнения, линейна алгебра, числени методи и програмиране.

Таблица 1. Съответствие между етапите на модела, формираните компетентности и учебните области

Етап	Формирана компетентност	Учебна област
Е1 Анализ на проблема	Разпознаване на съществени фактори и зависимости в реална система	Инженерна подготовка
Е2 Формулиране на предположения	Формализация на реален проблем чрез променливи, параметри и хипотези	Математическо моделиране
Е3 Изграждане на модел	Създаване на математически модел чрез система от обикновени диференциални уравнения	Диференциални уравнения
Е4 Аналитично изследване	Анализ на равновесни състояния и устойчивост на системата	Диференциални уравнения и линейна алгебра
Е5 Компютърна реализация	Реализация на модела чрез числени методи и програмна среда	Числени методи и програмиране
Е6 Визуализация и интерпретация	Анализ и интерпретация на числени и графични резултати	Компютърно моделиране и визуализация
Е7 Параметричен анализ и прогнозиране	Изследване на чувствителност, сценарии и вземане на решения	Инженерен анализ

7 Заключение

Предложен е многоетапен модел за обучение по математическо моделиране. Моделът обединява в единна последователност анализ на реален проблем, формулиране на предположения и избор на променливи, изграждане на математически модел, аналитично изследване, компютърна реализация, визуализация и интерпретация, и параметричен анализ. Той интегрира съдържанието на диференциални уравнения, линейна алгебра, числени методи и компютърно моделиране в единен учебен сценарий.

Моделът преодолява фрагментацията между отделните дисциплини и подпомага формирането на интегрирана инженерна подготовка. Ролята на софтуерната среда е обоснована не само като инструмент за числена реализация, но и като среда за проверка и визуална интерпретация на аналитичните резултати.

Подробно са описани седемте последователни етапа с конкретизирани цели, дейности и очаквани резултати. Предложено е съответствие между отделните етапи и формираната математическа, изчислителна и инженерна подготовка.

Предложеният модел може да бъде адаптиран към различни задачи – популационна динамика, конкурентни икономически субекти, разпространение на технологии или епидемии. Бъдещата работа може да включва емпирично изследване на ефекта от

прилагането на модела върху успеваемостта и мотивацията на студентите. Възможно е също разработването на конкретни диагностични задачи за всеки от седемте етапа.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Тодорова-Лазарова, В. П., Приложение на многоетапен модел за обучение по математическо моделиране върху динамична система. (в настоящия сборник).

[2] Лалев Х. Л., Цанков Ц. С. Синтез на симулационни модули. Международна научна конференция, посветена на 105-годишнината от рождението на Джон Атанасов и Джон фон Нойман, Шумен, 2008, ISBN 978-954-577-540-6.

[3] Borromeo Ferri, R., Mathematical Modelling in School Education: From Theory to Application. In: Proceedings of ICME (2018).

[4] Blum, W., Leiß, D., How do students and teachers deal with modelling problems? In: Mathematical Modelling: Education, Engineering and Economics (2007), 222–231.

[5] Pollak, H.O., The interaction between mathematics and other school subjects. In: New Trends in Mathematics Teaching, UNESCO, Vol. 4 (1979), 232–248.

[6] Hmelo-Silver, C.E., Problem-based learning: What and how do students learn? Educational Psychology Review, 16 (3) (2004), 235–266.

[7] Savery, J.R., Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning, 1 (1) (2006), 9–20.

[8] Attaway, S., MATLAB: A Practical Introduction to Programming and Problem Solving. 6th ed., Butterworth-Heinemann (2023).

[9] Rahman, A., Spratt, S., Teaching ordinary differential equations with MATLAB: An integrated approach. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 51 (5) (2020), 745–760.

[10] Guzdial, M., Programming environments for novices. In: Computer Science Education Research (2004), 47–69.

[11] Стефанова А. Приложение на изкуствения интелект в обучението по геодезия. Трета национална научно-практическа конференция „Дигитална трансформация на образованието – проблеми и решения“, Русе, 24–25 април 2025, с. 415–419, ISSN 3033-0610, ISSN 3033-0629.

[12] Цанков Ц. С., Диманова Д. В. Компютърна дидактична програма за код на Хеминг. Годишник на Шуменския университет „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2016, ISSN 1311-834X.

[13] Stefanova, A. Determination of the angular accuracy when setting out the centers of bridge piers. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 29, 2025, pp. 14–23, ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online). https://doi.org/10.46687/jsar.v29i1.448

[14] Petrov, Y., Staneva, L. Analysis of Braking Deceleration and the Efficiency of Automotive Braking Systems Using MATLAB. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.

[15] Petrov, Y. Modeling Of Transients Processies In Linear Electric Circuit Of The Second Order With Generalised Net. Annual of Assen Zlatarov University – Burgas, Bulgaria, Vol. XLVI, No. 1, 2019.

[16] Petrov, Y., Staneva, L. Mathematical Modeling of Safe Vehicle–Pedestrian Distance with Interactive Visualization. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.

[17] Станева, Л., Петров, Ю., Георгиев, Й., Беловски, И., Едрев, С. Програмна реализация на компютърна лаборатория на базата на MATLAB-GUIDE. Годишник на Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас, т. XLII, № 1, 2013, с. 100–102.

[18] Бурова И. Съвременни подходи в обучението и конкретиката им по технологии и предприемачество. В: Дидактико-методически технологии в контекста на компетентностния подход. Шумен: УИ „Епископ Константин Преславски“, 2023, с. 42–46. ISBN 978-619-201-728-6.

[19] Бурова И. Същност на технологиите и приложението им в обучението. Е-списание „Образование и развитие“, бр. 17, 2026, с. 78–83. ISSN 2603-3577.

APPLICATION OF A MULTI-STAGE MODEL FOR TEACHING MATHEMATICAL MODELLING TO A DYNAMIC SYSTEM

VALENTINA P. TODOROVA-LAZAROVA

ABSTRACT: *This paper presents a teaching scenario for mathematical modelling applied to a dynamical system, built around an adapted Volterra–Lotka model. The scenario describes the interaction between an industrial process and ecological–regulatory pressure and is organized according to a seven-stage model for teaching mathematical modelling. It covers analytical investigation of equilibrium points via the Jacobian matrix, computational implementation, visualization, and parametric analysis of a technological efficiency coefficient. It is shown that increasing technological efficiency shifts the equilibrium production capacity without affecting the equilibrium level of ecological pressure. The scenario employs mathematical tools from the standard higher mathematics curriculum for engineering programmes.*

KEYWORDS: *mathematical modelling; dynamical systems; Volterra–Lotka model; engineering education; differential equations; equilibrium analysis; parametric analysis; technological efficiency*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26VPO

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОЕТАПЕН МОДЕЛ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ ВЪРХУ ДИНАМИЧНА СИСТЕМА

ВАЛЕНТИНА П. ТОДОРОВА-ЛАЗАРОВА

АБСТРАКТ: *В настоящата публикация е представен учебен сценарий за математическо моделиране върху динамична система, изграден около адаптиран модел на Волтера-Лотка. Сценарият описва взаимодействието между индустриален процес и екологично-регулаторен натиск и е организиран по седеметапен модел за обучение по математическо моделиране. Включва аналитично изследване на равновесните точки чрез матрицата на Якоби, компютърна реализация, визуализация и параметричен анализ на коефициента на технологична ефективност. Показано е, че увеличаването на технологичната ефективност измества равновесния производствен капацитет без промяна на равновесното ниво на екологичния натиск. Сценарият използва математически апарат от стандартната подготовка по висша математика за инженерни специалности.*

1 Въведение

Съвременната индустрия функционира в условия на нарастващ обществен и регулаторен натиск за намаляване на негативното въздействие върху околната среда. Едновременно с това навлизането на интелигентни и иновативни технологии дава възможност за намаляване на екологичния отпечатък на производствените системи без съществено ограничаване на производствения капацитет [1,2].

Настоящата статия представя учебен сценарий, в рамките на който тази динамика се формализира чрез система от диференциални уравнения от типа хищник-жертва. Сценарият е организиран по седеметапен модел за обучение по математическо моделиране, описан в отделна публикация [3]. Тук тези етапи не се описвани подробно и служат само като рамка за организацията на изложението.

Целта на настоящата публикация е да демонстрира пълния аналитичен и числен анализ на адаптираната система. Примерът е избран така, че да използва математически апарат от стандартната подготовка по висша математика за инженерни специалности.

2 Приложение на седеметапния модел за обучение по математическо моделиране

Условие на задачата:

1. Да се анализира взаимодействието между индустриалната активност и екологично-регулаторния натиск в условията на устойчиво индустриално развитие.
2. Да се формулират променливите, параметрите и основните предположения на модела.
3. Да се изгради математически модел чрез система от диференциални уравнения.
4. Да се определят равновесните състояния и да се изследва тяхната устойчивост.
5. Да се реализира моделът в софтуерна среда и да се проведат числени експерименти.
6. Да се визуализират и интерпретират получените резултати.
7. Да се анализира влиянието на параметър, характеризиращ ефективността на интелигентните и иновативните технологии.

А. Етап 1. Анализ на реален проблем

В разглеждания учебен сценарий се идентифицират две взаимодействащи величини. Първата е индустриалният процес. Той се развива със собствен темп на растеж, но е ограничаван от екологично-регулаторния натиск. Втората е регулаторно-екологичният натиск. Неговото нарастване зависи от интензивността на индустриалната дейност.

Б. Етап 2. Формулиране на предположения и избор на променливи

Приема се, че индустриалната активност нараства със собствен темп на развитие, но се ограничава от екологично-регулаторния натиск. Приема се също, че екологично-регулаторният натиск намалява при отсъствие на индустриална дейност и се усилва вследствие на производствените процеси. Допълнително се предполага, че внедряването на интелигентни и иновативни технологии намалява интензивността на това въздействие.

Съобразно направените предположения индустриалната активност се означава с $x(t)$, а екологично-регулаторният натиск – с $y(t)$.

Тази структура на взаимодействие е аналогична на взаимодействието между жертва и хищник в класическия модел на Волтера-Лотка и служи като основа за математическата формализация [8]. Други приложения на динамичното моделиране са оценката на устойчивостта на биорафинерии [5] и разпространението на ERP и MES системи [6]. Влиянието на закъсненията върху устойчивостта на обобщени модели на Лотка-Волтера е разгледано в [7].

В. Етап 3. Изграждане на математически модел

За количествено описание на направените предположения се въвеждат параметрите a, b, c, d и e, характеризиращи съответно естествения растеж на индустриалната активност, ограничаващото влияние на екологично-регулаторния натиск, естественото намаляване на този натиск, усилването му вследствие на индустриалната дейност и ефективността на интелигентните и иновативните технологии.

Взаимодействието между индустриалната активност $x(t)$ и екологичния натиск $y(t)$ се описва чрез следната системата нелинейни ОДУ от първи ред:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - bxy \\ \frac{dy}{dt} = -cy + (1 - e)dxy \end{cases}. \quad (1)$$

При $e = 0$ моделът се свежда до класическия модел на Волтера [8]. Нарастването на e описва повишаване на ефективността на използваните технологии.

Стойностите на променливите и параметрите, използвани в демонстрацията, са обобщени в Таблица 1. Те имат демонстрационен характер и са избрани така, че да осигурят съществуване на нетривиална равновесна точка и ясно изразено влияние на параметъра e. Стойностите на променливите са зададени в условни единици, а моделът не е калибриран по данни от конкретен индустриален обект.

Таблица 1. Начални условия и параметри на адаптирания модел

Величина	**Описание**	**Стойност**
$x(t)$	Ниво на индустриален процес	$x^0 = 10$ (условни единици)
$y(t)$	Ниво на екологично-регулаторен натиск	$y^0 = 5$ (условни единици)
Параметър	**Описание**	**Стойност**
a	Коефициент на естествен ръст на производството	0.6
b	Коефициент на потискане от екологичния натиск	0.3
c	Коефициент на затихване на екологично-регулаторния натиск	0.4
d	Коефициент на нарастване на екологичния натиск от индустрията	0.2
e	Коефициент на ефективност на иновативните технологии	$0.0 \rightarrow 0.5$

Г. Етап 4. Аналитично изследване

– **Равновесни точки**

Нетривиалната равновесна точка се получава от условията $\frac{dx}{dt} = 0$ и $\frac{dy}{dt} = 0$:

$$y^* = \frac{a}{b}, x^* = \frac{c}{(1-e)d}. \quad (2)$$

От (2) се вижда, че равновесното ниво на екологично-регулаторния натиск y^* зависи единствено от коефициентите a и b. Не зависи от параметъра e. За сметка на това x^* нараства монотонно и нелинейно с e. Увеличаването на ефективността на технологиите

измества равновесието към по-висок производствен капацитет, без да увеличава равновесния екологично-регулаторен натиск.

При зададените параметри $y^* = 2.00$ (константа) за всички стойности на e. Равновесният производствен капацитет x^* приема стойностите 2.00, 2.50 и 4.00 за $e = 0, 0.2$ и 0.5 съответно.

Студентите получават аналитичен израз, който предсказва изместването на равновесието преди извършването на числени симулации. Това създава възможност за последваща проверка на хипотезата, че по-високата технологична ефективност води до по-висок устойчив производствен капацитет, без да увеличава равновесния екологично-регулаторен натиск.

– **Анализ чрез матрицата на Якоби**

Матрицата на Якоби на система (1) има вид

$$J = \begin{pmatrix} a - by & -bx \\ (1-e)dy & -c + (1-e)dx \end{pmatrix}. \quad (3)$$

След заместване на координатите на равновесната точка (2) се получава матрицата на линеаризираната система в околността на равновесието.

Характеристичното уравнение $\det(J - \lambda I) = 0$ дава следните собствени стойности:

$$\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{b(1-e)dx^*y^*}. \quad (4)$$

Получените чисто имагинерни собствени стойности показват, че линеаризираната система има особена точка от тип център в околността на равновесната точка. Това заключение се потвърждава и от числените симулации в т.2.6., при които се наблюдават затворени фазови траектории около равновесието.

След заместване на $x^* = \frac{c}{(1-e)d}$ и $y^* = \frac{a}{b}$ в израза за собствените стойности параметърът e се съкращава. Следователно параметърът e влияе върху положението на равновесната точка, но не участва в определянето на локалната динамика в нейната околност. Получава се:

$$\lambda^{1,2} = \pm i\sqrt{ac}. \quad (5)$$

Следователно собствените стойности не зависят от параметъра e. Технологичната ефективност измества положението на равновесната точка, но не променя локалния тип на особената точка. Стойността $\pm 0.4899i$ се повтаря за всички разгледани сценарии.

Резултатите за трите разгледани стойности на e са обобщени в Таблица 2.

Таблица 2. Равновесни точки и собствени стойности

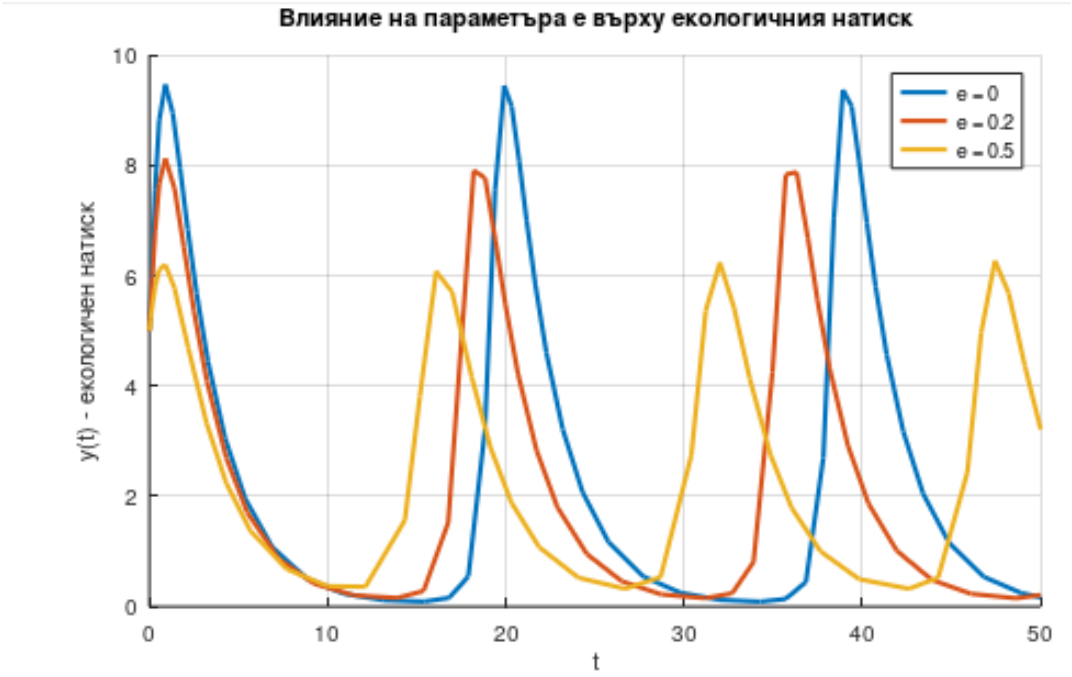
e	x*	y*	$\lambda_{1,2}$
0	2.00	2.00	±0.4899 i
0.2	2.50	2.00	±0.4899 i
0.5	4.00	2.00	±0.4899 i

Д. Компютърна реализация

Моделът е реализиран в софтуерна среда чрез три изчислителни процедури. Синтезът на симулационни модули е разгледан в [4], а програмната реализация на компютърна лаборатория с MATLAB-GUIDE в [13]. Първата процедура решава система (1) числено и построява времевите графики на $x(t)$ и $y(t)$. Втората процедура използва получените решения за построяване на фазовите траектории $(x(t), y(t))$. Третата процедура изчислява равновесната стойност $x*(e)$ по формула (2) и визуализира зависимостта $x*(e)$ от параметъра e. Изчисленията са извършени за интервала $t \in [0,50]$, с начални условия $x_0 = 10$, $y_0 = 5$, и параметри от Таблица 1. Във всички процедури са разгледани стойностите $e = 0, e = 0.2, e = 0.5$.

Е. Визуализация и интерпретация

Времевите графики на $y(t)$ показват, че максималният екологично-регулаторен натиск намалява с нарастване на e. При $e = 0$ той достига $y_{\max} \approx 9.46$. При $e = 0.2$ достига $y_{\max} \approx 8.12$. При $e = 0.5$ достига $y_{\max} \approx 6.21$. Кривите запазват периодичния си характер (Фиг. 1).

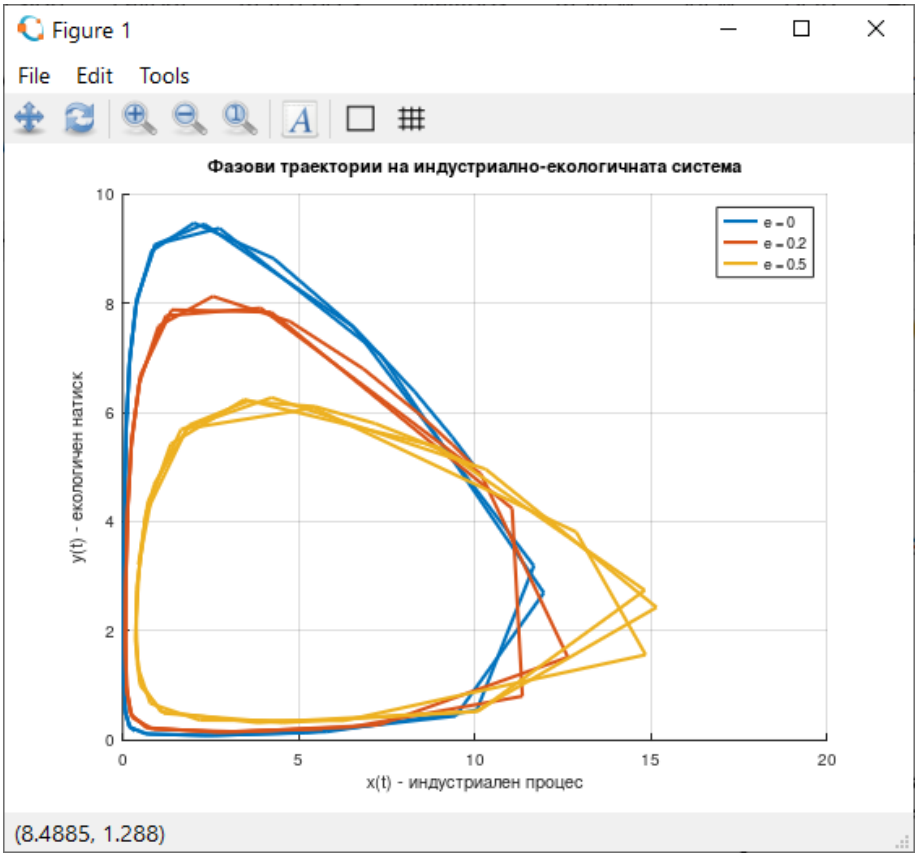


Фиг. 1. Времеви ход на екологичния натиск y(t) за три стойности на e: синьо $e = 0$, оранжево $e = 0.2$, жълто $e = 0.5$

Фазовите портрети $\big(x(t), y(t)\big)$ показват затворени траектории около равновесната точка. Това потвърждава аналитичния резултат от Етап 4. При $e = 0$ фазовата орбита обхваща най-високи стойности на екологично-регулаторния натиск. С нарастване на e равновесната точка се измества към по-високи стойности на x. При $e = 0.5$ системата функционира при по-висок производствен капацитет и по-нисък пиков екологично-регулаторен натиск (Фиг. 2).

Наблюдаваните затворени фазови траектории съответстват на особена точка от тип център, определена чрез собствените стойности на матрицата на Якоби в Етап 4. По този

начин студентите проследяват пряката връзка между аналитичното изследване на модела и графичното представяне на поведението на системата.



Фиг. 2. Фазови траектории: синьо $e = 0$, оранжево $e = 0.2$, жълто $e = 0.5$; отбелязани равновесни точки

Ж. Параметричен анализ и прогнозиране

Равновесната стойност $x^*(e)$ нараства монотонно и нелинейно с e. При $e = 0$ тя е 2.00, а при $e = 0.9$ достига 20.00. Това следва от формулата $x^*(e) = \frac{c}{(1-e)d}$. Производната

$$\frac{dx^*}{de} = \frac{c}{d(1-e)^2} \tag{6}$$

нараства бързо при $e \to 1$. От (6) се вижда, че чувствителността нараства бързо при $e \to 1$.

За всички стойности на e равновесният екологично-регулаторен натиск остава постоянен: $y^* = 2.00$. Технологичната ефективност влияе върху положението на равновесната точка, но не променя нейния тип.

При $e = 0$ моделът се свежда до класическия модел на Волтера. При $e \to 1$ приносът на индустриалната дейност към екологично-регулаторния натиск клони към нула. Този режим съответства на почти пълно затваряне на материалните и енергийните цикли, т.нар. кръгова икономика. Поради неограниченото нарастване на $x^*(e)$ при $e \to 1$ моделът следва да се разглежда като приложим само в диапазон от стойности на e, за които останалите предположения остават изпълнени.

Повишаването на технологичната ефективност води до увеличаване на производствения капацитет, без да увеличава равновесното ниво на екологично-регулаторния натиск. Това е основният практически извод от параметричния анализ.

3 Методически аспекти и студентски затруднения

А. Трудности при формулирането на члена на взаимодействие

На етапа на изграждане на модела студентите не винаги разбират интуитивно защо взаимодействието между две величини се моделира чрез произведение xy, а не чрез линеен член в съответното уравнение. Преодоляването на тази трудност изисква изрично обсъждане на физическия смисъл на члена xy. Той се интерпретира като вероятност за взаимодействие между двете величини, пропорционална на тяхното едновременно присъствие.

Друга типична грешка е смесването на нива на величините с темпове на изменение. Например студентите смесват количеството на замърсяването с неговата скорост на нарастване. Тази грешка води до неправилно формулиране на диференциалните уравнения.

Б. Интерпретация на собствените стойности

Анализът чрез матрицата на Якоби е едно от най-проблемните места за студентите. Техниката за намиране на собствени стойности е добре усвоена от курса по линейна алгебра. Въпреки това връзката между характера на собствените стойности и качественото поведение на траекториите остава абстрактна за повечето студенти.

Чисто имагинерните собствени стойности са особено труден случай. Студентите трябва да направят концептуален скок от алгебричен резултат, а именно собствени стойности с нулева реална част, към геометрична интерпретация, а именно затворени орбити от тип център. Именно тук фазовият портрет от фиг. 2 играе решаваща дидактическа роля. Той предоставя нагледно потвърждение на абстрактния алгебричен резултат.

В. Връзка между аналитичните и числените резултати

Студентите са склонни да третират аналитичното изследване и числената реализация като два отделни процеса. Ако числено получената равновесна точка не съвпада точно с аналитично изчислената, те трудно обясняват причината за разминаването. Подходяща тема за обсъждане е чувствителността към началните условия в системи от тип център, при които съществува семейство затворени орбити. Друга подходяща тема е грешката на численото интегриране.

Г. Ролята на визуализацията

Възможността да се промени параметърът e и да се наблюдава незабавно как се изменят графиките на $x(t), y(t)$ и фазовият портрет, превръща параметричния анализ в интерактивен експеримент. Интерактивното изследване изисква студентите да формулират собствени хипотези и да ги проверяват веднага. Подобни практически подходи към интерактивното обучение се разглеждат и в педагогическите изследвания [14]. Отделни примери за технологично подпомагане на обучението са дидактичната програма за код на Хеминг [9] и приложението на изкуствения интелект в обучението по геодезия [10]. Примерът е избран така, че да използва математически апарат от стандартната подготовка по висша математика за инженерни специалности. Други примери за инженерно моделиране са безопасното разстояние между превозно средство и пешеходец с интерактивна визуализация [11] и анализът на спирачното забавяне с MATLAB [12].

4 Заключение

В настоящата публикация е представен учебен сценарий за математическо моделиране, изграден около адаптиран модел на Волтера-Лотка. Сценарият описва взаимодействието между индустриален процес и екологично-регулаторен натиск. Параметризиран е чрез коефициент на технологична ефективност e.

Аналитичното изследване показа, че равновесното ниво на екологичния натиск $y^* = \frac{a}{b}$ не зависи от e. Равновесният производствен капацитет $x^* = \frac{c}{(1-e)d}$ нараства монотонно и нелинейно с e. Анализът на матрицата на Якоби показа наличие на особена точка от тип център в околността на равновесното състояние. Числените симулации в MATLAB потвърдиха затворени фазови траектории за всички разгледани стойности на e. Параметричният анализ показа, че технологичната ефективност влияе предимно върху равновесния производствен капацитет, а не върху равновесното ниво на екологичния натиск.

Представеният сценарий илюстрира приложението на седеметапния модел за обучение по математическо моделиране, описан в [3]. Той може да служи като основа за подобни задачи с взаимодействие от типа хищник-жертва или по-общо взаимно зависими динамични величини. Бъдещата работа може да включва разширяване на сценария с допълнителни параметри, взаимодействия от по-висок порядък и други класове динамични системи, разгледани в областите на приложение на предложения модел.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] He, B., Bai, K.-J., Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review. Advances in Manufacturing, 9 (2021), 1-21.

[2] Blair, G., Digital Twins of the Natural Environment. Patterns, 2 (10) (2021), Article 100359.

[3] Todorova-Lazarova, V.P., Description of a multi-stage model for teaching mathematical modelling (в настоящия сборник).

[4] Лалев Х. Л., Цанков Ц. С. Синтез на симулационни модули. Международна научна конференция, посветена на 105-годишнината от рождението на Джон Атанасов и Джон фон Нойман, Шумен, 2008, ISBN 978-954-577-540-6.

[5] Roy, B.B., Tu, Q., A review of system dynamics modeling for the sustainability assessment of biorefineries. Journal of Industrial Ecology, 26 (4) (2022), 1450-1459.

[6] Wang, Z.-X., Jv, Y.-Q., Wang, Z.-D., Ma, J.-H., Coordination estimation of ERP and MES diffusion in China. Computers & Industrial Engineering, 176 (2023), Article 108923.

[7] Saeedian, M. et al., Effect of delay on the emergent stability patterns in generalized Lotka-Volterra ecological dynamics. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 380 (2227) (2022), Article 20210245.

[8] Fort, H., Lotka-Volterra at 100: How predator-prey modeling became a universal framework. Ecological Modelling, 508 (2025), Article 111237.

[9] Цанков Ц. С., Диманова Д. В. Компютърна дидактична програма за код на Хеминг. Годишник на Шуменския университет „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2016, ISSN 1311-834X.

[10] Стефанова А. Приложение на изкуствения интелект в обучението по геодезия. Трета национална научно-практическа конференция „Дигитална трансформация на образованието – проблеми и решения“, Русе, 24–25 април 2025, с. 415–419, ISSN 3033-0610, ISSN 3033-0629.

[11] Petrov, Y., Staneva, L. Mathematical Modeling of Safe Vehicle–Pedestrian Distance with Interactive Visualization. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.

[12] Petrov, Y., Staneva, L. Analysis of Braking Deceleration and the Efficiency of Automotive Braking Systems Using MATLAB. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.

[13] Станева, Л., Петров, Ю., Георгиев, Й., Беловски, И., Едрев, С. Програмна реализация на компютърна лаборатория на базата на MATLAB-GUIDE. Годишник на Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, Бургас, т. XLII, № 1, 2013, с. 100–102.

[14] Бурова И. Приложение на интерактивни практики в часовете по технологии и предприемачество. Условия за провеждане и резултати от експеримента. В: Компетентностният подход като алтернатива пред предизвикателствата на 21. век, 2022, с. 75–83. ISBN 978-619-201-677-7.

6G NETWORKS AS THE BASIS FOR SMART MANUFACTURING*

IVAYLO I. PETROV, PETAR G. SOTIROV

ABSTRACT: *The development of industrial automation and the Industry 4.0 concept place new demands on communication technologies. The expected deployment of the sixth generation of mobile networks (6G) will provide significantly higher data transmission speeds, ultra-low latency and intelligent management of connected devices. These features make 6G a key technological foundation for smart manufacturing. This report examines the role of 6G networks in the industrial environment, their advantages, applications and challenges in their implementation.*

KEYWORDS: *6G Networks, Smart Manufacturing, Industry 4.0, Artificial Intelligence, Digital Twins*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26IIP

6G МРЕЖИ КАТО ОСНОВА ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО ПРОИЗВОДСТВО

ИВАЙЛО И. ПЕТРОВ, ПЕТЪР Г. СОТИРОВ

АБСТРАКТ: *Развитието на индустриалната автоматизация и концепцията Индустрия 4.0 поставят нови изисквания към комуникационните технологии. Очакваното внедряване на шестото поколение мобилни мрежи (6G) ще осигури значително по-високи скорости на предаване на данни, ултраниска латентност и интелигентно управление на свързаните устройства. Тези характеристики превръщат 6G в ключова технологична основа за интелигентното производство. Настоящият доклад разглежда ролята на 6G мрежите в индустриалната среда, техните предимства, приложения и предизвикателства при внедряването им.*

1 Въведение

Интелигентното производство представлява съвременен подход към организацията на производствените процеси чрез използване на цифрови технологии, изкуствен интелект, Интернет на нещата (IoT) и автоматизирани системи. За да функционират ефективно тези технологии, е необходима комуникационна инфраструктура, която да осигурява бърз и надежден обмен на информация в реално време. След успеха на 5G технологиите, научните изследвания са насочени към развитието на 6G мрежите, които се очаква да предложат ново ниво на свързаност и интелигентност. В този контекст 6G се разглежда като фундаментална технология за бъдещите интелигентни фабрики. Преходът към цифрово производство изисква не само модернизиране на оборудването, но и изграждане на комуникационна среда, способна да поддържа непрекъснат поток от данни между всички участници в производствения процес. Съвременните предприятия разчитат на обмен на информация между машини, оператори, складови системи и логистични платформи, което налага използването на високоефективни мрежови технологии. Относими разработки са моделът на 5G комуникация [3], архитектурата на автономни мрежи в индустриални IoT среди [2] и реализацията на полево ниво на индустриална комуникационна мрежа [4]. Нарастващата сложност на производствените системи води до необходимостта от по-висока степен на

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

координация между различните звена в предприятието. В този контекст комуникационната инфраструктура се превръща в стратегически ресурс, който оказва пряко влияние върху производителността, качеството на продукцията и конкурентоспособността на организациите. Особено значение придобива възможността за обработка на данни в реално време. Чрез непрекъснато наблюдение на производствените процеси предприятията могат да откриват потенциални проблеми още в началния им етап и да предприемат своевременни коригиращи действия. Това създава предпоставки за намаляване на загубите и повишаване на оперативната ефективност. Разработването на 6G технологии е насочено към удовлетворяване на бъдещите потребности на индустрията, които надхвърлят възможностите на съществуващите комуникационни решения. Очаква се новото поколение мрежи да предостави технологична основа за внедряването на иновативни производствени модели, основани на интелигентни системи, автономно управление и висока степен на дигитализация. На фиг. 1 е показана схема на развитие на производството към Индустрия 4.0.



Фиг. 1. Развитие на производството към Индустрия 4.0

2 ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА 6G МРЕЖИТЕ

6G мрежите ще надградят възможностите на 5G чрез постигане на скорости на трансфер от порядъка на терабити в секунда и латентност под една милисекунда. Освен това те ще поддържат огромен брой свързани устройства и ще използват изкуствен интелект за оптимизиране на комуникационните процеси. Тези характеристики позволяват обработката и предаването на големи обеми данни в реално време, което е особено важно за автоматизираните производствени линии и системите за управление на индустриални процеси. 6G се очаква да използва терахерцовия честотен спектър, който предлага значително по-голяма честотна лента в сравнение със съществуващите комуникационни технологии. Това ще позволи пренос на огромни количества информация за изключително кратко време и ще подпомогне работата на сложни индустриални системи. Друга важна характеристика е повишената надеждност на връзката. Оценяването на надеждността на програмируеми устройства и подобряването на индустриалната комуникация са разгледани в [8, 9], качеството на данните в индустриални мрежи в [10], а оценката на мрежовата надеждност и оптимизацията с ИИ в [12]. В производствена среда дори краткотрайно прекъсване на комуникацията може да доведе до спиране на процеси или финансови загуби. Поради това 6G ще бъде проектирана с механизми за максимална устойчивост и непрекъсваемост на услугите. Очаква се новите мрежи да поддържат значително по-прецизно позициониране на устройства и оборудване. Това ще бъде полезно при проследяване на материали, автономни превозни средства и роботи в рамките на интелигентните фабрики. Съществено предимство ще бъде и способността на мрежата да

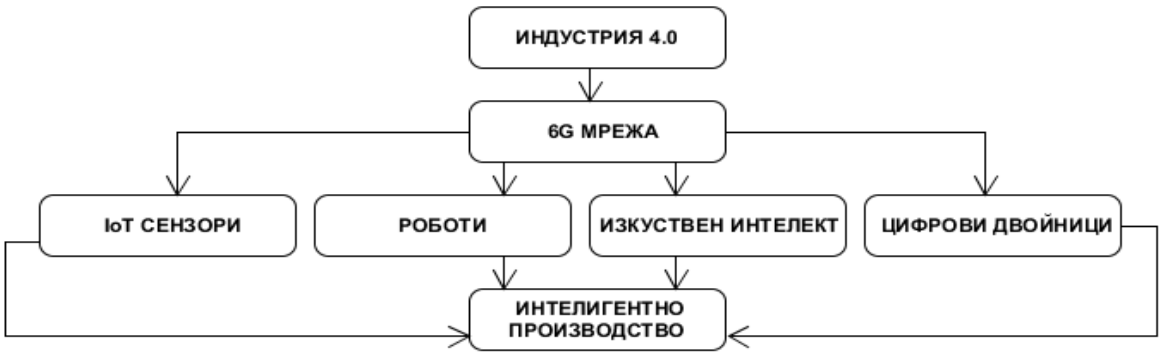
обработва информация не само в облака, но и близо до мястото на нейното генериране. Това ще намали натоварването на централните сървъри и ще ускори вземането на решения. Важна особеност на 6G мрежите е тяхната способност да осигуряват комуникация между различни технологични платформи в единна цифрова екосистема. Това включва интегрирането на производствени машини, сензори, автономни роботи и системи за управление в обща мрежова среда. Благодарение на тази свързаност предприятията ще могат да реализират по-висока степен на автоматизация, по-ефективен контрол върху производствените процеси и по-бърза адаптация към промените в производствените условия. Таблица 1 показва ключови технологични характеристики на 6G мрежите.

Таблица 1. Ключови технологични характеристики на 6G мрежите

Характеристика	Описание	Очаквана стойност
Точност на позициониране	Определяне местоположението на устройства и роботи	до 1 cm
Покритие в триизмерна среда	Поддръжка на наземни, въздушни и космически комуникации	100% интегрирана среда
Енергийна ефективност	Намаляване на енергията за пренос на данни	до 20 пъти по-висока спрямо 5G
Интелигентно управление на мрежата	Автоматична оптимизация чрез AI	над 90% автоматизирани операции
Надеждност на услугите	Гарантиране на непрекъсната комуникация	99.99999%
Поддръжка на цифрови двойници	Обновяване на виртуални модели в реално време	< 1 ms време за синхронизация

3 РОЛЯТА НА 6G В ИНДУСТРИЯ 4.0

Концепцията Индустрия 4.0 се основава на взаимосвързани машини, сензори и информационни системи. 6G мрежите ще осигурят необходимата комуникационна среда за обмен на данни между тези компоненти с минимални закъснения. Чрез интеграцията на 6G предприятията ще могат да създават напълно свързани производствени екосистеми, в които машините комуникират автономно и вземат решения въз основа на анализ на данните в реално време. Индустрия 4.0 изисква висока степен на гъвкавост при управлението на производствените ресурси. Чрез 6G предприятията ще могат по-лесно да адаптират производствените линии към променящите се нужди на клиентите и пазара. Технологията ще подпомогне създаването на интелигентни производствени среди, в които всички системи функционират като единна мрежа. Това ще улесни координацията между различните производствени етапи и ще подобри цялостната ефективност. Благодарение на усъвършенстваната свързаност ще бъде възможно централизирано наблюдение на множество производствени обекти, разположени в различни географски региони. Това ще улесни управлението на глобалните производствени вериги. Допълнително предимство е възможността за по-бързо внедряване на нови технологии и оборудване. Свързаните системи ще могат автоматично да се интегрират в съществуващата инфраструктура без значителни промени в организацията на производството. Фиг. 2 показва централизирана схема.



Фиг. 2. Централизирана схема

4 ПОДОБРЯВАНЕ НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА И РОБОТИЗАЦИЯТА

Интелигентните роботи и автономните производствени системи изискват надеждна и бърза комуникация. 6G ще позволи координация между множество роботи в производствената среда без забавяния и прекъсвания. Благодарение на високата пропускателна способност ще бъде възможно използването на усъвършенствани алгоритми за машинно обучение и компютърно зрение, което ще подобри точността и ефективността на производствените операции. Съвременните индустриални роботи изпълняват все по-сложни задачи, които изискват постоянен обмен на информация. 6G ще осигури комуникационна среда, в която роботите ще могат да реагират мигновено на промените в работната среда. Автономните мобилни роботи, използвани за транспорт на материали и компоненти, ще се възползват от по-точното навигиране и координация. Това ще намали вероятността от сблъсъци и ще повиши безопасността в производствените помещения. Новите комуникационни възможности ще подпомогнат и взаимодействието между хора и роботи. Служителите ще могат да работят съвместно с интелигентни машини при по-висока степен на сигурност и ефективност. Развитието на роботизацията ще позволи изпълнението на опасни или трудоемки операции без пряка човешка намеса. По този начин ще се подобрят условията на труд и ще се намалят производствените рискове. Таблица 2 показва сравнение между 5G и 6G параметри в индустриална среда, а таблица 3 динамика на автоматизацията в индустрията.

Таблица 2. Сравнение между 5G и 6G параметри в индустриална среда

Показател	5G	6G (прогноза)
Латентност (ms)	5.0	0.5
Максимална скорост на данни (Gbps)	10	1000
Плътност на свързани устройства (на km²)	1,000,000	10,000,000
Време за реакция на роботни системи (ms)	10.0	0.8
Синхронизация между роботи (%)	97.5	99.9
Ефективност на производствен процес (%)	78	95

Таблица 3. Динамика на автоматизацията в индустрията

Година	Степен на роботизация (%)
2020	42
2022	50
2024	62
2026	75
2028	88
2030	94

5 ИНТЕГРАЦИЯ С ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ И ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА

Една от ключовите особености на 6G е вградената поддръжка на изкуствен интелект. Това ще позволи интелигентно управление на мрежовите ресурси и автоматично адаптиране към променящите се производствени условия. Концепцията за софтуерно дефинирани мрежи е разгледана в [17]. Същевременно милиони IoT устройства ще могат да обменят информация в реално време. Данните от сензорите ще се анализират незабавно, което ще подпомага предиктивната поддръжка на оборудването и оптимизацията на производствените процеси. Модулите за изграждане на безжични сензорни мрежи са разгледани в [5], потоците от данни в Profibus в [6], оптимизацията на пакети за визуално наблюдение на PLC в [7], а обработката на данни при пакетна комутация в [11]. Изкуственият интелект ще използва информацията, събирана от хилядите сензори в производствената среда, за да открива закономерности и да предлага оптимизации на процесите. Това ще помогне за по-добро използване на ресурсите и оборудването. Свързаните устройства ще предоставят постоянна информация за състоянието на машините, температурата, влажността и други важни параметри. Анализът на тези данни ще подпомага вземането на по-информирани управленски решения. Чрез комбинацията между IoT и 6G ще се създадат интелигентни системи за мониторинг, способни автоматично да предупреждават за възникващи проблеми. Това ще намали вероятността от аварии и непланирани прекъсвания на производството. Освен в производството, тези технологии могат да бъдат приложени и в складовото стопанство, логистиката и контрола на качеството, което ще допринесе за по-добра координация на всички бизнес процеси. Проектирането и управлението на логистични системи в средносерийно производство са разгледани в [13, 16], а експертният анализ на логистичното управление и качеството в [15]. Таблица 4 показва сравнение между AI и IoT.

6 ЦИФРОВИ ДВОЙНИЦИ И ВИРТУАЛНО МОДЕЛИРАНЕ

Цифровият двойник представлява виртуално копие на реален производствен обект или процес. За неговото ефективно функциониране е необходим постоянен обмен на данни между физическата и виртуалната среда. 6G мрежите ще осигурят необходимата скорост и надеждност за актуализиране на цифровите модели в реално време. Това ще позволи симулации, прогнозиране на повреди и оптимизиране на производството преди извършване на реални промени. Цифровите двойници позволяват детайлно наблюдение на работата на производственото оборудване през целия му жизнен цикъл. Това предоставя ценна информация за ефективността и състоянието на активите. Чрез виртуалното моделиране

могат да бъдат тествани различни производствени сценарии без риск за реалното производство. Така предприятията могат да оценяват ефекта от определени промени преди тяхното внедряване. Използването на цифрови двойници подпомага обучението на персонала чрез реалистични симулации. Служителите могат да придобиват практически умения в безопасна виртуална среда, без да се нарушава производственият процес. Допълнително предимство е възможността за непрекъснато усъвършенстване на производствените стратегии. Натрупаните данни от реалната експлоатация могат да се използват за повишаване на производителността и качеството на продукцията.

Таблица 4. Сравнение между AI и IoT

Показател	5G инфраструктура	6G инфраструктура
Време за обработка на данни (ms)	10.0	0.7
Брой свързани IoT устройства (млн. на индустриален обект)	1.5	20
Анализ в реално време (%)	72	99
Точност на предиктивна поддръжка (%)	86	98
Автоматизирани решения без човек (%)	45	90
Време за откриване на аномалии (ms)	500	5

Изчисляване на грешката между реален обект и цифров двойник

Цифровият двойник трябва максимално точно да отразява състоянието на реалната машина. За оценка на точността може да се използва относителната грешка:

$$E = \frac{|R-D|}{R} \times 100\% \quad (1)$$

където :

E – относителна грешка (%)

R – реално измерена стойност

D – стойност, предсказана от цифровия двойник

Реалното време за производство на изделие е 120 секунди, а цифровият двойник прогнозира 115 секунди. Получената грешка е 4.17%, което показва висока точност на модела.

$$E = \frac{|120-115|}{120} \times 100\% = \frac{5}{120} \times 100\% = 4.17\% \quad (2)$$

Изчисляване на подобрението на производителността

След внедряване на цифров двойник може да се измери увеличението на производителността:

$$P = \frac{Q_2-Q_1}{Q_1} \times 100\% \quad (3)$$

където:

P – процентно подобрение

Q_1 – производителност преди внедряването

Q_2 – производителност след внедряването

Преди внедряване на цифров двойник фабриката произвежда 800 изделия дневно, а след внедряването – 950 изделия. Производителността е повишена с 18.75%.

$$P = \frac{950-800}{800} \times 100\% = \frac{150}{800} \times 100\% = 18.75\% \quad (4)$$

Изчисляване на намаляване на престоя на машините

Цифровите двойници често се използват за предиктивна поддръжка.

$$D = \frac{T_1-T_2}{T_1} \times 100\% \quad (5)$$

където:

D – намаляване на престоя (%)

T_1 – престой преди внедряване

T_2 – престой след внедряване

Престоят е намален от 40 часа месечно на 15 часа месечно. След внедряване на цифровия двойник престоят е намален с 62.5%.

$$D = \frac{40-15}{40} \times 100\% = \frac{25}{40} \times 100\% = 62.5\% \quad (6)$$

7 ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ

Въпреки значителните предимства, внедряването на 6G ще бъде свързано с редица предизвикателства. Сред тях са високите инвестиционни разходи, необходимостта от нова инфраструктура и гарантирането на киберсигурността в силно свързените производствени системи. Очаква се обаче технологичният напредък и нарастващите потребности на индустрията да ускорят разработването и внедряването на 6G решения. Това ще допринесе за изграждането на по-гъвкави, ефективни и устойчиви производствени предприятия. Едно от основните предизвикателства е необходимостта от разработване на нови международни стандарти за работа на 6G системите. Единните стандарти ще бъдат важни за съвместимостта между различните производители и технологии. Друг съществен въпрос е защитата на индустриалните данни. С увеличаването на броя на свързаните устройства нараства и необходимостта от надеждни механизми за защита срещу кибератаки и неоторизиран достъп. Сигурността на интелигентни IoT структури е разгледана в [1], а съвременните киберзаплахи в [14]. Успешното внедряване на 6G ще изисква подготовка на специалисти с нови знания и умения. Инженерите и техническите експерти ще трябва да работят с все по-сложни цифрови системи и интелигентни технологии. В перспектива се очаква развитието на 6G да стимулира появата на нови бизнес модели и индустриални решения. Това ще открие възможности за създаване на по-конкурентоспособни предприятия и ускоряване на технологичните иновации в производствения сектор. Таблица 5 показва основни предизвикателства при внедряването на 6G в интелигентното производство, фиг. 3 ги изобразява.

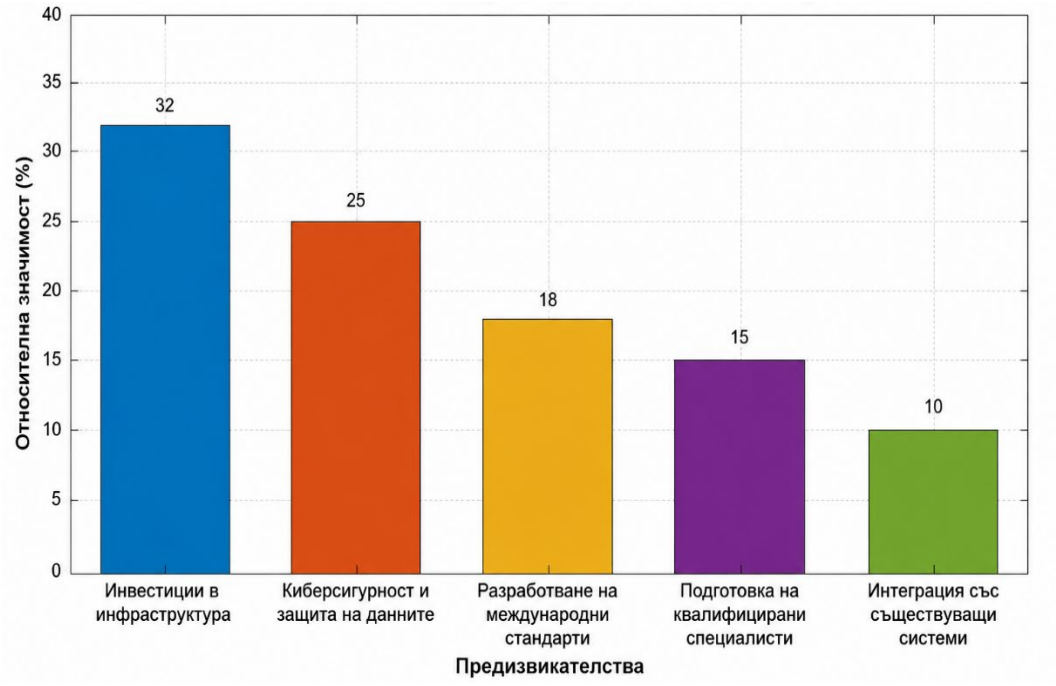
8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

6G мрежите представляват следващата стъпка в развитието на комуникационните технологии и имат потенциала да се превърнат в основа на интелигентното производство. Чрез осигуряване на ултрабърза свързаност, минимална латентност и интеграция с

изкуствен интелект, те ще позволят създаването на напълно автоматизирани и взаимосвързани производствени системи. Въпреки съществуващите предизвикателства, перспективите пред 6G показват, че технологията ще играе ключова роля в развитието на бъдещата индустрия и цифровата трансформация на производството. Внедряването на 6G мрежи ще създаде условия за по-тясна интеграция между производството, логистиката и управлението на веригите за доставки. Това ще позволи по-добра координация между отделните етапи на производствения цикъл и ще улесни адаптирането към динамичните изисквания на пазара. Освен икономическите ползи, използването на 6G технологии може да допринесе и за постигането на по-висока устойчивост на производствените процеси. По-прецизният контрол върху ресурсите и по-ефективното управление на енергията ще подпомогнат намаляването на разходите и ограничаването на негативното въздействие върху околната среда. От съществено значение ще бъде сътрудничеството между научните среди, индустрията и държавните институции при разработването на стандарти и политики за внедряване на новите мрежови технологии. Такъв подход ще подпомогне по-бързото им въвеждане и ще гарантира сигурност и надеждност при тяхната експлоатация.

Таблица 5. Основни предизвикателства при внедряването на 6G в интелигентното производство

Предизвикателство	Относителна значимост (%)
Инвестиции в инфраструктура	32
Киберсигурност и защита на данните	25
Разработване на международни стандарти	18
Подготовка на квалифицирани специалисти	15
Интеграция със съществуващи системи	10



Фиг. 3. Основни предизвикателства при внедряване

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Стоянова, В. Интернет на нещата – анализ на сигурността при интелигентни структури. II International Scientific Conference CONFSEC, Borovets, 2018, Year 2, Issue 2 (4). ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

[2] Червенкова С. М., Цанков Ц. С. Архитектура и ефективност на автономни мрежи в индустриални IoT среди. Сборник доклади от Студентска научна сесия, Технически университет – Габрово, 17 октомври 2025, ISSN 3033-0890, с. 188–193.

[3] Denev D., Konstantinova E., Development of a 5G Model of Communication in Computer Networks, 2020, International scientific refereed online journal SocioBrains – Sofia: Smart ideas - wise decisions Ltd, Issue 71, ISSN 2367-5721, pp. 1-10.

[4] Denev D., Tsankov Ts., Design and Implementation of a Field Level of an Industrial Communication Network for the Needs of the Industry, 2022, 57th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2022, https://ieeexplore.ieee.org/, Ohrid, North Macedonia, 16-18 June, ISBN 978-1-6654-8500-5 and DOI 10.1108/ICEST55168.2022.9828607

[5] Denev D., Overview of the Modules for Building a Wireless Sensor Network, 2022, Conference with international participation MATTEH 2022, Conference Proceedings, vol. 2 Communication and Computer Technologies, ISSN 1314-3921, pp. 52-57.

[6] Denev D., A Survey of Data Flow in the Profibus Communication Networks, 2022, Conference with international participation MATTEH 2022, Conference Proceedings, vol. 2 Communication and Computer Technologies, ISSN 1314-3921, pp. 102-110.

[7] Denev D., Tsankov Ts., Communication-Based Dynamic Packet Optimization for Visual PLC Monitoring, 2022, Annual University Scientific Conference, Proceedings of National Military University „Vasil Levski“, Veliko Tarnovo, ISSN 2367-7481, pp. 1259-1266.

[8] Denev D., Development of a Computational Model of a Complex Indicator of the Reliability of a System of Programmable Devices in a Manufacturing Enterprise, 2023, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Volume XIII E, ISSN 1314-8818, page 98 -103.

[9] Denev D., Hristova E., Tsankov Ts., Improving network communication and increasing the reliability of programmable devices in industry, 2023, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Volume XIII E, ISSN 1314-8818, pp. 39-52.

[10] Hristova E., Denev D., Tsankov Ts. A Survey of Data Quality in Industrial Networks and Enhancing Their Reliability Complex Indicator for the Needs of the Industry, 2024, Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources.”, Vol. II, Rezekne, Latvia, ISSN 1691-5402, ISBN 978-171389957-0 and DOI 10.17770/etr2024vol2.8036, pp. 120-126.

[11] Denev D., Tsankov Ts., A Novel Approach in Implementation and Amelioration of Data Processing in Packet Switching Technology, 2025, 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST, https://ieeexplore.ieee.org/, Ohrid, North Macedonia, 26-28 June, ISBN 979-8-3315-2655-9, ISSN: 2603-3267, DOI: 10.1109/ICEST66328.2025.11098340, pp. 1-6.

[12] Denev D., Nikolova S., A Novel Algorithm for Industrial Network Reliability Estimation and AI-Based System Optimization, 2025, Proceedings of XXXIII National Conference with International Participation TELECOM, ISBN:978-1-6654-6564-9, ISSN: 2837-5246, DOI: 10.1109/TELECOM66943.2025.11304081, pp. 1-4.in Manufacturing Technology XXXIV, IOS Press, 2021, DOI: 10.3233/ATDE210062.

[13] Kodzheykova, V. Methodology of design of logistics systems in medium-serial production. Proceedings of the Annual University Scientific Conference 2021, National Military University “Vasil Levski”, Veliko Tarnovo, 2021, pp. 2481–2488, ISSN 2367-7481.

[14] Nikolov, L., Slavyanov, K. On the Contemporary Cybersecurity Threats. Proceedings of the First International Scientific Conference CONFSEC 2017, Borovets, 11–14 December 2017, pp. 142–144. ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

[15] Yankova-Yordanova, Y., Kodzheykova, V. Expert approach for analysing a logistics control system and quality management in the conditions of small and medium serial production. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 15, 2019, pp. 37–47, ISSN 1314-6289.

[16] Kodzheykova, V., Yankova-Yordanova, Y. Methodology for logistics system management in medium serial production. Journal Scientific and Applied Research, 2019, pp. 32–42, ISSN 1314-6289.

[17] Uzun, M. B., Atanasov, V. T. Common conception of software-defined networks. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Vol. XIII E, 2023, pp. 112–119, ISSN 2815-4703 (Online).

INDUSTRY 6.0 AND THE NEW PARADIGMS OF SUSTAINABLE AND SMART MANUFACTURING*

YURAY YU. MEHMEDOV, DANIEL R. DENEV

ABSTRACT: *Industry 6.0 represents the next stage in the development of industrial systems, which builds on the concepts of Industry 4.0 and 5.0. It emphasizes sustainability, intelligence and harmony between technology and people. The main idea of Industry 6.0 is the creation of production systems that not only optimize processes, but also minimize the impact on the environment. This includes the use of renewable resources and intelligent energy management. An important aspect is the integration of new technologies such as artificial intelligence, quantum computing and autonomous systems. They allow the creation of adaptive and self-learning production environments. This report examines the main characteristics, advantages, challenges and future prospects of Industry 6.0 in the context of sustainable development.*

KEYWORDS: *Industry 6.0, quantum computing, autonomous systems*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26YYM

ИНДУСТРИЯ 6.0 И НОВИТЕ ПАРАДИГМИ НА УСТОЙЧИВОТО И ИНТЕЛИГЕНТНО ПРОИЗВОДСТВО

ЮРАЙ Ю. МЕХМЕДОВ, ДАНИЕЛ Р. ДЕНЕВ

АБСТРАКТ: *Индустрия 6.0 представлява следващ етап в развитието на индустриалните системи, който надгражда концепциите на Индустрия 4.0 и 5.0. Тя поставя акцент върху устойчивостта, интелигентността и хармонията между технологиите и човека. Основната идея на Индустрия 6.0 е създаването на производствени системи, които не само оптимизират процесите, но и минимизират въздействието върху околната среда. Това включва използване на възобновяеми ресурси и интелигентно управление на енергията. Важен аспект е интеграцията на нови технологии като изкуствен интелект, квантови изчисления и автономни системи. Те позволяват създаването на адаптивни и самообучаващи се производствени среди. Настоящият доклад разглежда основните характеристики, предимства, предизвикателства и бъдещи перспективи на Индустрия 6.0 в контекста на устойчивото развитие.*

1 Въведение

Развитието на индустриалните системи е тясно свързано с технологичния прогрес и промените в икономическата среда. Всяка индустриална революция е оказвала значително влияние върху начина на производство, организацията на труда и използването на ресурсите. От механизацията през XVIII век до съвременните цифрови технологии, индустрията непрекъснато се трансформира в стремеж към по-висока производителност, качество и ефективност. В резултат на този процес възниква концепцията за Индустрия 6.0, която се разглежда като следващ етап в еволюцията на производствените системи. Индустрия 6.0 надгражда постиженията на предходните индустриални модели, като съчетава цифровизацията с принципите на устойчивото развитие и социалната отговорност. Докато Индустрия 4.0 поставя акцент върху автоматизацията, свързаността и обмена на

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие MATTEX 2026 – ФТН“

данни, а Индустрия 5.0 насочва вниманието към човека и сътрудничеството между хора и интелигентни машини, Индустрия 6.0 се стреми да постигне балансирано взаимодействие между технологичния напредък, икономическата ефективност и опазването на околната среда. Появата на тази концепция е обусловена от редица глобални предизвикателства. Нарастващото потребление на природни ресурси, изменението на климата, необходимостта от намаляване на въглеродните емисии и засилената конкуренция между предприятията изискват нов подход към организацията на производството. Традиционните индустриални модели все по-трудно отговарят на съвременните изисквания за устойчивост, гъвкавост и бърза реакция на пазарните промени. Поради тази причина предприятията търсят нови решения, които да осигурят едновременно висока производителност и отговорно използване на ресурсите. Съществена особеност на Индустрия 6.0 е възприемането на производствените системи като част от по-широка икономическа и социална екосистема. Производствените процеси вече не се разглеждат изолирано, а като взаимосвързани елементи, които оказват влияние върху обществото, околната среда и икономическото развитие. Това налага внедряване на нови управленски модели, които да отчитат не само финансовите резултати, но и дългосрочните последици от индустриалната дейност. В условията на глобализация предприятията са изправени пред необходимостта да поддържат висока конкурентоспособност и едновременно с това да изпълняват все по-строги екологични и социални изисквания. Индустрия 6.0 предлага рамка за постигане на тези цели чрез интегриране на иновативни технологии, устойчиви производствени практики и съвременни методи за управление. По този начин се създават предпоставки за изграждане на производствени системи, способни да функционират ефективно в динамична и непрекъснато променяща се среда. В дългосрочен план Индустрия 6.0 има потенциала да промени из основи начина, по който предприятията планират, организират и управляват своите дейности. Очаква се тя да допринесе за създаването на по-устойчива индустриална среда, в която икономическите цели са съчетани с опазването на природните ресурси и подобряването на качеството на живот. Поради тази причина концепцията привлича все по-голямо внимание както от страна на бизнеса, така и от страна на научната общност и държавните институции. На фиг. 1 е показан концептуален модел на Индустрия 6.0.



Фиг. 1. Концептуален модел на Индустрия 6.0

2 ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ИНДУСТРИЯ 6.0

Индустрия 6.0 се характеризира с интегрирането на интелигентни производствени системи, способни да функционират в сложна и динамична среда. Основна особеност на този модел е способността на различните компоненти на производството да комуникират помежду си и да обменят информация в реално време. Това създава условия за по-добра координация между отделните процеси и позволява бързо адаптиране към промените в

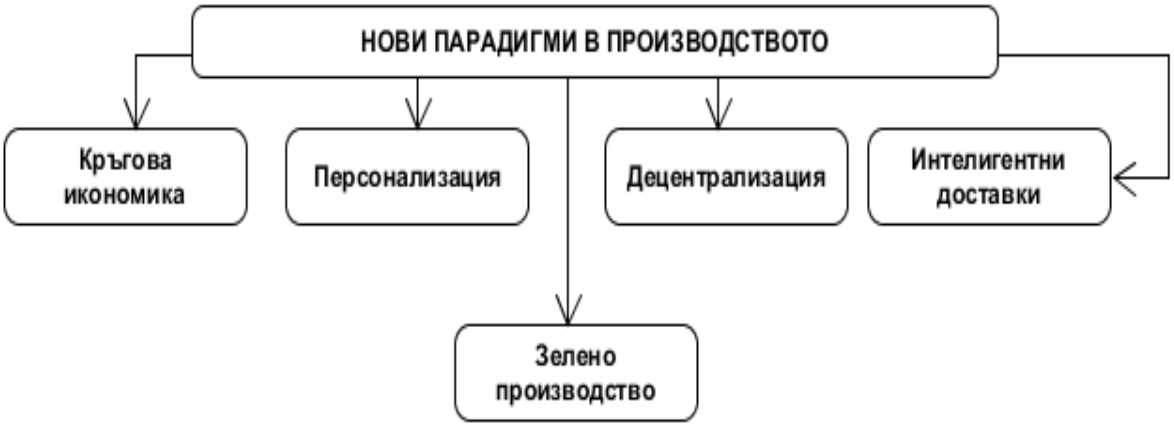
производствените изисквания. Друга съществена характеристика е високата степен на автономност. Производствените системи могат самостоятелно да извършват анализ на информацията, да идентифицират потенциални проблеми и да предприемат коригиращи действия. Това намалява необходимостта от постоянна човешка намеса и позволява по-ефективно управление на ресурсите. Автономността обаче не изключва ролята на човека, а създава условия за по-ефективно взаимодействие между операторите и технологичните системи. Важен елемент е и свързаността между различните нива на производството. Машини, сензори, транспортни системи и управленски платформи функционират като части от единна цифрова инфраструктура. Благодарение на тази свързаност информацията се предава незабавно между отделните звена, което подобрява контрола върху производствените процеси и съкращава времето за вземане на решения. Гъвкавостта представлява друга ключова характеристика на Индустрия 6.0. Съвременните предприятия трябва да могат бързо да реагират на променящите се изисквания на пазара и индивидуалните потребности на клиентите. Производствените системи са проектирани така, че да позволяват бърза промяна на производствените параметри без необходимост от значителни структурни промени или продължителни прекъсвания на работата. Особено значение има взаимодействието между човека и интелигентните технологии. Вместо да заменя изцяло човешкия фактор, Индустрия 6.0 създава условия за сътрудничество между специалистите и автоматизираните системи. Човекът запазва своята роля при стратегическото планиране, творческите дейности и вземането на сложни решения, докато рутинните операции се изпълняват от автоматизирани системи. Човекоцентричността и социалната устойчивост са разгледани в контекста на Индустрия 5.0 [3, 4], а системите за взаимодействие между хора и машини при управление на физически обекти са изследвани в [13]. Допълнителна характеристика е повишената надеждност на производствените процеси. Чрез непрекъснат мониторинг на оборудването и производствените параметри предприятията могат своевременно да откриват отклонения и да предотвратяват възникването на аварии. Това допринася за намаляване на престоя, подобряване на качеството и увеличаване на общата производителност. Таблица 1 показва съпоставка между Индустрия 4.0, 5.0 и 6.0, обобщена по [2, 3].

Таблица 1. Сравнение между Индустрия 4.0, 5.0 и 6.0

Показател	**Индустрия 4.0**	**Индустрия 5.0**	**Индустрия 6.0**
Автоматизация	80%	85%	95%
Човешко участие	Средно	Високо	Високо + AI подкрепа
Енергийна ефективност	70%	80%	95%
Устойчивост	Средна	Висока	Много висока
Автономни решения	Частични	Частични	Почти пълни
Използване на AI	Високо	Високо	Много високо
Персонализация	Средна	Висока	Много висока
Кръгова икономика	Ограничена	Частична	Основен принцип
Свързаност на системите	Висока	Много висока	Пълна
Въглероден отпечатък	Среден	Нисък	Много нисък

3 НОВИ ПАРАДИГМИ В ПРОИЗВОДСТВОТО

Индустрия 6.0 въвежда редица нови концепции, които променят традиционните разбирания за организацията на производството. Една от най-значимите парадигми е преминаването от линейни към кръгови производствени модели. Вместо ресурсите да се използват еднократно и впоследствие да се превръщат в отпадък, те се включват повторно в производствения цикъл чрез рециклиране, възстановяване и повторна употреба. По този начин се намалява натискът върху природните ресурси и се подобрява устойчивостта на предприятията. Друга важна тенденция е развитието на персонализираното производство. Съвременните потребители все по-често търсят продукти, съобразени с техните индивидуални предпочитания и специфични изисквания. Индустрия 6.0 създава условия за производство на малки серии или дори единични изделия, без това да води до значително увеличаване на разходите. Това променя традиционния модел на масово производство и предоставя нови възможности за предприятията. Нараства значението и на децентрализираните производствени структури. Вместо концентриране на всички дейности в големи производствени комплекси, все по-често се използват мрежи от взаимосвързани производствени единици. Този подход повишава устойчивостта на предприятията и намалява риска от прекъсване на производството при възникване на локални проблеми. Съществена роля играят интелигентните вериги за доставки. Те позволяват по-прецизно планиране на доставките, по-добър контрол върху материалните потоци и по-ефективно управление на складовите наличности. Чрез непрекъснат обмен на информация между производители, доставчици и клиенти се създават условия за по-висока прозрачност и по-добра координация на дейностите. Методологията за управление на логистични системи в средносерийно производство е разгледана в [1]. Концепцията за зелено производство също заема централно място в Индустрия 6.0. Тя включва използването на екологично чисти технологии, ограничаване на вредните емисии и внедряване на енергийно ефективни решения. Целта е производствените дейности да оказват възможно най-малко негативно въздействие върху околната среда, като същевременно се запазва икономическата ефективност. Тези нови парадигми формират основата на съвременното производство и създават предпоставки за по-гъвкави, конкурентоспособни и устойчиви индустриални системи. На фиг. 2 са показани основните парадигми на производството [2, 6, 7].



Фиг. 2. Основни парадигми на производството в Индустрия 6.0

4 ПРЕДИМСТВА НА ИНДУСТРИЯ 6.0

Технологичното развитие е основният двигател на Индустрия 6.0. Съвременните производствени системи разчитат на множество взаимосвързани технологии, които осигуряват висока степен на автоматизация, прецизност и ефективност. Тези технологии формират основата на новото поколение интелигентни индустриални среди. Изкуственият интелект заема централно място в развитието на Индустрия 6.0. Чрез използване на сложни алгоритми системите могат да анализират големи обеми информация, да разпознават закономерности и да подпомагат вземането на решения. Това позволява по-добро планиране на производството и оптимизиране на ресурсите. Машинното обучение представлява друга важна технологична основа. То дава възможност на производствените системи да подобряват своето представяне чрез натрупване и анализ на опит. В резултат оборудването може по-точно да прогнозира потенциални проблеми и да предотвратява възникването на аварии. Интернет на нещата осигурява свързаност между различните устройства и производствени компоненти. Сензори, машини и контролни системи обменят информация в реално време, което създава условия за непрекъснат мониторинг и управление на производствените процеси. Все по-голямо значение придобиват цифровите двойници. Те представляват виртуални модели на реални производствени системи, които позволяват симулиране на различни сценарии и оценка на възможните резултати преди внедряването на реални промени. Това намалява риска и подобрява качеството на управленските решения. Облачните технологии предоставят необходимата инфраструктура за съхранение и обработка на огромни количества информация. Те позволяват достъп до данни от различни локации и улесняват интеграцията между отделните производствени звена. Наред с тях се развиват и квантовите изчисления, които в бъдеще могат да предложат нови възможности за решаване на сложни индустриални задачи и моделиране на процеси с изключително висока сложност. Комбинацията от тези технологии създава условия за изграждане на интелигентни производствени системи, способни да функционират ефективно в условията на непрекъснато променяща се индустриална среда. Таблица 2 обобщава основните очаквани предимства и ефекти, разглеждани в настоящия доклад.

Таблица 2. Основни предимства на Индустрия 6.0 и очакван ефект

Показател	Подобрение
Производителност	+20% до +50%
Качество на продукцията	+15% до +40%
Намаляване на производствените разходи	20% до 40%
Намаляване на енергопотреблението	15% до 35%
Намаляване на производствените отпадъци	25% до 60%
Намаляване на човешките грешки	30% до 70%
Скорост на вземане на решения	+40% до +80%
Гъвкавост на производството	+30% до +60%
Проследимост на процесите	до 100%
Намаляване на въглеродните емисии	20% до 50%

5 ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРИ ВНЕДРЯВАНЕ

Въпреки значителните възможности и перспективи, които предлага Индустрия 6.0, нейното внедряване е свързано с редица предизвикателства. Тези трудности засягат както технологичните аспекти на производството, така и организационните, икономическите и социалните фактори, които оказват влияние върху процеса на трансформация на предприятията. Едно от най-сериозните предизвикателства е необходимостта от значителни инвестиции. Внедряването на ново поколение технологии изисква закупуване на модерно оборудване, изграждане на цифрова инфраструктура, внедряване на специализиран софтуер и обучение на персонала. За много предприятия, особено за малките и средните компании, подобни инвестиции могат да представляват сериозно финансово натоварване. Друг важен проблем е сложността на интеграцията между различните технологични решения. В практиката често се използват системи, разработени от различни производители и базирани на различни стандарти. Това може да затрудни комуникацията между отделните компоненти и да увеличи времето и разходите за внедряване. Постигането на ефективна съвместимост между различните технологии изисква внимателно планиране и разработване на унифицирани подходи. Недостигът на квалифицирани специалисти също представлява сериозно предизвикателство. Управлението на интелигентни производствени системи изисква експерти с познания в областта на информационните технологии, анализа на данни, автоматизацията и индустриалното инженерство. Нарастващото търсене на подобни специалисти често изпреварва възможностите на образователните институции да подготвят достатъчен брой кадри. Особено внимание трябва да се обърне и на въпросите, свързани с киберсигурността. Свързаните производствени системи обработват огромни количества информация и са потенциална цел за различни видове кибератаки. Нарушаването на сигурността може да доведе до загуба на чувствителни данни, прекъсване на производствения процес и значителни финансови щети. Поради тази причина предприятията трябва да инвестират в надеждни механизми за защита на информацията и контрол на достъпа [8]. Допълнително предизвикателство представлява управлението на големите обеми данни, генерирани от интелигентните системи. Събирането на информация е само първата стъпка. Необходимо е тя да бъде структурирана, анализирана и използвана по начин, който създава реална стойност за предприятието. Това изисква наличието на мощни изчислителни ресурси и специализирани аналитични инструменти. Наред с техническите трудности възникват и редица етични и правни въпроси. Използването на автономни системи поставя въпроси относно отговорността при възникване на грешки или аварии. Необходимо е също така разработването на регулаторни рамки, които да гарантират безопасното и справедливо използване на новите технологии. Всички тези фактори показват, че успешното внедряване на Индустрия 6.0 изисква комплексен подход, който съчетава технологични решения, стратегическо управление и развитие на човешкия капитал. На фиг. 3 са показани основните предизвикателства при внедряването на Индустрия 6.0. [5]

6 СОЦИАЛНО И ЕКОЛОГИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ИНДУСТРИЯ 6.0

Индустрия 6.0 оказва съществено влияние не само върху производствените процеси, но и върху обществото и околната среда. Развитието на интелигентните технологии създава нови възможности за подобряване на качеството на живот, повишаване на безопасността на труда и насърчаване на устойчивото използване на ресурсите. Една от най-значимите социални промени е трансформацията на трудовия пазар. Автоматизацията постепенно

намалява необходимостта от изпълнение на рутинни и физически натоварващи дейности, като същевременно увеличава търсенето на специалисти с висока квалификация. Това води до необходимост от непрекъснато обучение, преквалификация и развитие на нови професионални умения. Съвременните интелигентни системи допринасят и за създаването на по-безопасна работна среда. Опасните операции могат да бъдат изпълнявани от автономни машини, което намалява риска от трудови злополуки. Освен това системите за мониторинг позволяват ранно откриване на потенциални опасности и своевременно предприемане на превантивни мерки. От екологична гледна точка Индустрия 6.0 предлага значителни възможности за намаляване на отрицателното въздействие върху природата. Чрез по-прецизно управление на ресурсите предприятията могат да ограничат разхищението на суровини, енергия и вода. Това води до по-ниски производствени разходи и същевременно допринася за опазването на околната среда. Съществена роля играе и използването на възобновяеми енергийни източници. Все повече предприятия интегрират соларни, вятърни и други устойчиви енергийни решения в своите производствени процеси. Това намалява зависимостта от традиционните енергийни ресурси и допринася за ограничаване на въглеродните емисии. Опазването на околната среда чрез технологии за комбинирано производство на електрическа и топлинна енергия е разгледано в [9], а прилагането на Зелената сделка и CSRD в България в [12]. Друг важен аспект е намаляването на индустриалните отпадъци. Благодарение на по-прецизния контрол върху производството и внедряването на принципите на кръговата икономика се създават условия за по-ефективно използване на материалите. Вместо отпадъците да бъдат третирани като неизбежен резултат от производството, те се разглеждат като потенциален ресурс за бъдеща употреба. Социалното и екологичното въздействие на Индустрия 6.0 показва, че развитието на технологиите може да бъде насочено не само към повишаване на производителността, но и към постигане на по-устойчиво и отговорно развитие. Това превръща концепцията в ключов фактор за бъдещето на индустрията и обществото.



Фиг. 3. Основни предизвикателства при внедряването на Индустрия 6.0

КАЗУС: Внедряване на принципите на Индустрия 6.0 в производствено предприятие

Методологични направления за последващо емпирично оценяване са експериментално-статистическото изследване на логистични системи [10] и измерването на фактори за осигуряване на средносерийно технологично производство [11].

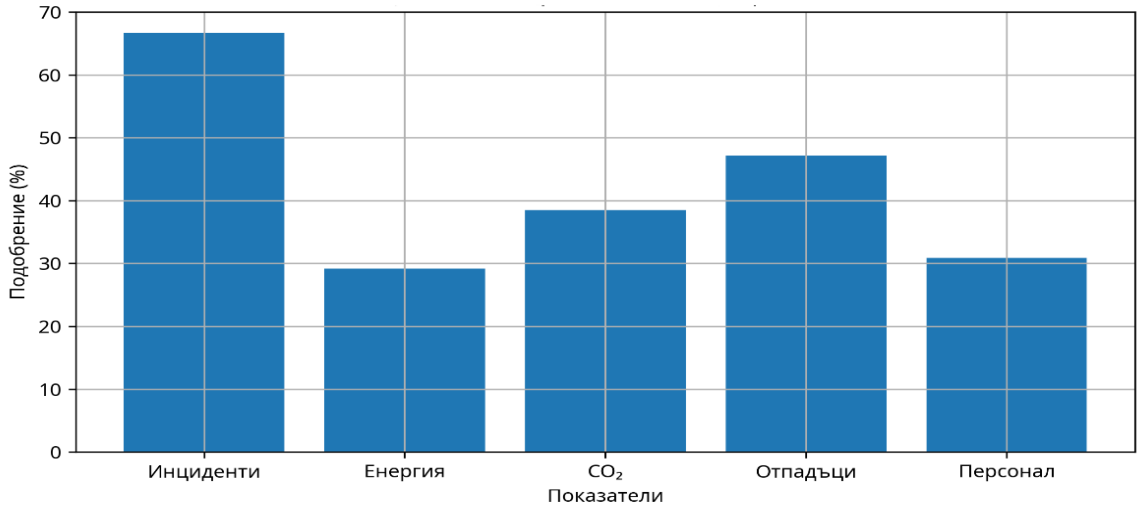
Производствено предприятие за електронни компоненти отчита високо потребление на енергия, значителни количества производствени отпадъци и сравнително голям брой трудови инциденти. През 2025 г. ръководството взема решение за внедряване на технологии и практики, характерни за Индустрия 6.0. Основните мерки включват използване на

интелигентни системи за мониторинг, автоматизация на рисковите производствени операции, внедряване на енергийно ефективно оборудване и оптимизация на управлението на ресурсите. След двугодишен период на внедряване предприятието отчита съществени подобрения както в социален, така и в екологичен аспект. Намалява броят на трудовите инциденти, подобрява се безопасността на работната среда и се създават възможности за повишаване на квалификацията на служителите. Едновременно с това се наблюдава намаляване на енергопотреблението, въглеродните емисии и количеството генерирани отпадъци. Таблица 3 показва социални и екологични показатели преди и след внедряване на Индустрия 6.0.

Резултатите показват, че внедряването на принципите на Индустрия 6.0 може да създаде баланс между икономическата ефективност, социалната отговорност и опазването на околната среда. Предприятието успява да подобри своята конкурентоспособност, като същевременно намалява негативното въздействие върху природната среда.

Таблица 3. Социални и екологични показатели преди и след внедряване на Индустрия 6.0

Показател	Преди внедряване	След внедряване
Трудови инциденти (бр./год.)	24	8
Енергопотребление (MWh/год.)	1200	850
Въглеродни емисии (t CO_2/год.)	520	320
Производствени отпадъци (t/год.)	180	95
Производителност (индекс)	100	135
Обучени служители (%)	35	88
Удовлетвореност на персонала (%)	68	89
Рециклирани материали (%)	22	67



Фиг. 4. Промяна на социалните и екологичните показатели след внедряване на Индустрия 6.0

7 БЪДЕЩЕ НА ИНДУСТРИЯ 6.0

Очаква се Индустрия 6.0 да играе все по-значима роля в глобалното икономическо развитие през следващите десетилетия. Постоянното усъвършенстване на технологиите ще създава нови възможности за повишаване на ефективността, устойчивостта и конкурентоспособността на производствените системи. Една от основните тенденции е развитието на напълно автономни производствени среди. В бъдеще производствените системи ще могат самостоятелно да планират, организират и оптимизират своите дейности с минимална човешка намеса. Това ще позволи по-бърза реакция при промени в търсенето и по-добро използване на ресурсите. Очаква се също така значително разширяване на ролята на изкуствения интелект. Усъвършенстваните алгоритми ще могат да обработват все по-големи обеми информация и да предоставят по-точни прогнози за бъдещи събития. Това ще подпомогне вземането на стратегически решения и ще намали риска от производствени загуби. Развитието на квантовите технологии може да доведе до съществени промени в индустриалния сектор. Квантовите изчисления ще позволят решаването на задачи, които са практически невъзможни за съвременните компютърни системи. Това ще отвори нови възможности за моделиране, оптимизация и управление на сложни производствени процеси. Друга важна тенденция е изграждането на глобални интелигентни производствени мрежи. Предприятия от различни държави ще могат да обменят информация и ресурси в реално време, което ще създаде условия за по-ефективно международно сътрудничество. Подобна свързаност ще допринесе за повишаване на устойчивостта на световните вериги за доставки. В дългосрочен план Индустрия 6.0 има потенциала да трансформира начина, по който обществото възприема производството. Вместо да бъде източник на значително потребление на ресурси и екологични проблеми, индустрията може да се превърне в двигател на устойчивото развитие и технологичния прогрес. [6]

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индустрия 6.0 представлява логично продължение на процеса на индустриална трансформация и съчетава най-новите технологични постижения с принципите на устойчивото развитие. Тя предлага нов подход към организацията на производствените процеси, при който ефективността, иновациите и социалната отговорност се разглеждат като взаимосвързани елементи. Развитието на интелигентни производствени системи, внедряването на съвременни цифрови технологии и стремежът към по-ефективно използване на ресурсите създават предпоставки за изграждане на нов модел на индустриално развитие. Този модел е насочен към повишаване на конкурентоспособността на предприятията и едновременно с това към намаляване на негативното въздействие върху околната среда. Въпреки съществуващите предизвикателства, свързани с инвестициите, интеграцията на технологиите, подготовката на специалисти и киберсигурността, потенциалните ползи от внедряването на Индустрия 6.0 са значителни. Предприятията получават възможност да оптимизират своите процеси, да подобрят качеството на продукцията и да развиват нови иновативни решения. Съществено значение има и социалното измерение на концепцията. Чрез създаването на по-безопасни работни условия, насърчаването на професионалното развитие и въвеждането на устойчиви производствени практики Индустрия 6.0 допринася за изграждането на по-балансирана връзка между икономиката, обществото и околната среда. В заключение може да се отбележи, че Индустрия 6.0 не е просто следващ етап от технологичното развитие, а цялостна визия за бъдещето на производството. Нейното успешно прилагане ще бъде определящ фактор за

развитието на съвременната индустрия и за постигането на дългосрочен икономически и социален напредък.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Kodzheykova, V., Yankova-Yordanova, Y. Methodology for logistics system management in medium serial production. Journal Scientific and Applied Research, 2019, pp. 32–42, ISSN 1314-6289.

[2] Madsen D. Ø., Slåtten K., Berg T., From Industry 4.0 to Industry 6.0: Tracing the Evolution of Industrial Paradigms Through the Lens of Management Fashion Theory, Systems, Vol. 13, No. 5, 2025, Article 387, DOI: 10.3390/systems13050387.

[3] Ivanov D., The Industry 5.0 Framework: Viability-Based Integration of the Resilience, Sustainability, and Human-Centricity Perspectives, International Journal of Production Research, Vol. 61, No. 5, 2023, pp. 1683–1695, DOI: 10.1080/00207543.2022.2118892.

[4] Gamberini L., Pluchino P., Industry 5.0: A Comprehensive Insight into the Future of Work, Social Sustainability, Sustainable Development, and Career, Australian Journal of Career Development, Vol. 33, No. 1, 2024, DOI: 10.1177/10384162241231118.

[5] Javidipour T., Opportunities and Challenges in the Transition to Autonomous and Adaptive Enterprises in the Era of Industry 6.0, Journal of Business and Future Economy, Vol. 1, No. 1, 2024, pp. 1–15.

[6] Babkin A. V., Liberman I. V., Klachek P. M., Shkarupeta E. V., Industry 6.0: Methodology, Tools, Practice, π-Economy, Vol. 18, No. 1, 2025, pp. 195–214, DOI: 10.18721/JE.18102.

[7] Huy P. Q., Phuc V. K., Insight into Technologically Vigilant Leadership: Smart Sustainable Circular Supply Chain Management in the Economic Context of Industry 6.0, Corporate Governance and Sustainability Review, Vol. 9, No. 4, 2025, pp. 75–88, DOI: 10.22495/cgsrv9i4p7.

[8] Nikolov, L., Slavyanov, K. On the Contemporary Cybersecurity Threats. Proceedings of the First International Scientific Conference CONFSEC 2017, Borovets, 11–14 December 2017, pp. 142–144. ISSN 2603-2945 (Print), ISSN 2603-2953 (Online).

[9] Tsankov Ts., Konstantinova E. Environmental protection through the use of new technologies for co-generation of electrical and thermal power. International Scientific Refereed Online Journal SocioBrains, Issue 67, March 2020, ISSN 2367-5721, pp. 91–97.

[10] Kodzheykova, V. Methodology of experimental-statistical research of logistics systems. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation MATTEH 2022, Vol. 2, Shumen, 2022, pp. 296–301, ISSN 1314-3921.

[11] Kodzheykova, V. Measurement of factors to provide medium serial technological production. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation MATTEH 2022, Vol. 2, Shumen, 2022, pp. 302–308, ISSN 1314-3921.

[12] Kuzmanova, E., Dimanova, D. Implementing the Green Deal and CSRD in Bulgaria – a Challenge or an Opportunity for the Business? 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2024, pp. 1–5.

[13] Tsvetanova, P. T., Stoyanova, V. T. Research of Systems for Interaction between People and Machines in the Management of Physical Objects. Proceedings of the International Scientific Conference “Defense Technology”, 2019. ISSN 2367-7902.

THE INTEGRAL – FROM AREA TO PROBABILITY: AN INTEGRATED APPROACH TO TEACHING MATHEMATICS, PHYSICS, AND TECHNICAL SCIENCES

GERGANA I. MANOVA, LYUBOMIR E. MANOV

ABSTRACT: *This paper examines the definite integral as an integrative didactic core connecting mathematics, physics, and technical sciences. It analyzes the geometric meaning of the integral as area, its physical meaning as accumulation, and its technical applications in signal processing, energy calculations, and numerical methods. A five-stage methodological model is proposed, in which student's progress from definition through physical interpretation and engineering application to a comprehensive problem, with special attention to the Newton–Leibniz formula as the bridge between differentiation and integration.*

KEYWORDS: *integral, integrated education, interdisciplinary connections, mathematics, physics, technical sciences, Newton–Leibniz formula*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26GIM

1 Introduction

If the derivative answers the question of how fast a quantity changes, the integral answers the reverse question: how much has accumulated in total as a result of that change. The two concepts are two sides of the same phenomenon – change – and together they build the meaning of mathematical analysis. This paper is a natural continuation of an earlier paper devoted to the derivative, and examines the integral in an analogous integrated way [1, 10].

In everyday teaching practice, the integral is often introduced as the inverse operation of differentiation – a technique for finding an antiderivative – without immediately revealing its physical meaning. Students learn a table of integrals and substitution rules, but rarely see why the area under a curve, work done, distance traveled, and probability are all computed in the same mathematical way [6, 13].

This fragmentation is especially noticeable in technical specialties, where the integral appears under different names: summation of infinitesimally small contributions, accumulated energy, mean-square current, probability measure. The common principle – summing small parts into a whole – remains hidden behind the variety of contexts [8, 9].

Contemporary educational frameworks place emphasis on competences, interdisciplinary connections, and the application of knowledge in new situations [5, 7]. Interdisciplinary teaching has also been examined in the context of technology and entrepreneurship education [23]. A similar logic is characteristic of the formation of technological thinking, in which scientific knowledge functions not as an end in itself, but as a tool for analyzing, designing, and evaluating technical solutions [2, 3]. In the Bulgarian pedagogical literature, the competence-based approach and interdisciplinary connections between mathematics and other sciences are also the subject of growing interest [14, 15]. The integral is a particularly suitable concept for such integration, since it connects geometry, physics, and technology through the common idea of accumulation. A multi-objective approach to the simultaneous teaching of thematically related methodological units is described and illustrated in [19, 20].

The purpose of this paper is to present the definite integral as an integrative didactic core for teaching mathematics, physics, and technical sciences, proposing a methodological model analogous to the one already developed by authors in previous article for the derivative.

2 The Integral as a Mathematical Concept

Geometrically, the definite integral of a non-negative function f(x) over an interval [a, b] represents the area of the region bounded by the graph of f(x), the x-axis, and the lines x = a and x = b. Strictly, it is defined as the limit of a Riemann sum – a sum of the areas of narrow rectangles of width Δx and height $f(x_i)$:

(1) $$\int_b^a f(x)\,dx = \lim_{\Delta x \to 0} \Sigma\, f(x_i) \cdot \Delta x$$

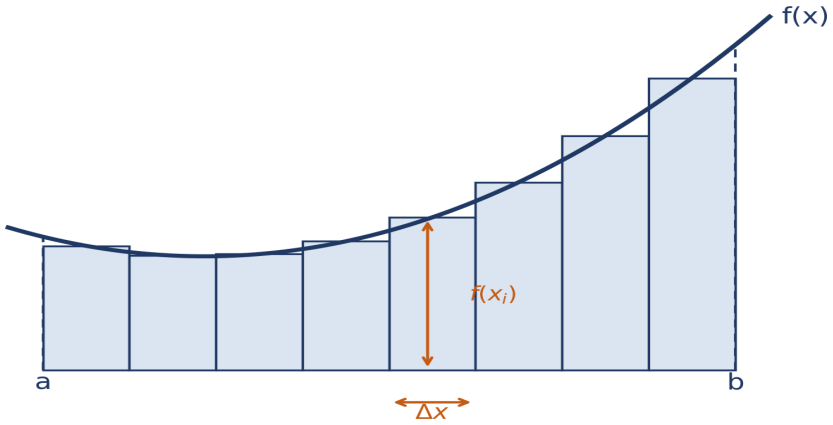


Fig. 1. Riemann sum – the area under the curve as the limit of a sum of narrow rectangles

The key link between the integral and the derivative is given by the Newton–Leibniz formula (the fundamental theorem of calculus): if F(x) is an antiderivative of f(x), i.e. F′(x) = f(x), then:

(2) $$\int_a^b f(x)\,dx = \mathrm{F(b)} - \mathrm{F(a)}$$

This formula is not merely a computational rule – it is the bridge connecting the two central objects of mathematical analysis. The derivative measures the rate of change at a point; the integral reconstructs the total accumulated quantity from that rate over an interval. Pedagogically, it is valuable to make this explicit: students who already know the derivative as "speed" can understand the integral as "distance traveled," "total expenditure," or "accumulated effect" [1, 10].

Besides the definite form, the integral also exists in an indefinite form – the family of all antiderivatives of a given function, ∫f(x)dx = F(x) + C. The distinction between the two forms is pedagogically important: the indefinite integral is a function (up to a constant), while the definite integral is a number – an area, work, charge, or probability, depending on the context.

3 The Integral in Physics – From Accumulation to Quantity

If the derivative links path, velocity, acceleration, charge, current, and power through differentiation, the integral performs the reverse transition – it reconstructs the quantity from its rate of change. Distance traveled is the integral of velocity:

(3) $$s = \int v(t)\, dt$$

Work done by a position-dependent force F(x) is the integral of the force over displacement:

(4) $$W = \int F(x)\, dx$$

Electric charge is the integral of current over time [6, 13]:

(5) $$Q = \int I(t)\, dt$$

and the energy delivered by a system with power P(t) is:

(6) $$E = \int P(t)\, dt$$

These relations mirror the equations from the earlier paper on the derivative – there the quantities were differentiated, here they are integrated. Such a comparison helps students see differentiation and integration not as two separate topics, but as two directions of the same movement between a quantity and its rate of change.

Table 1. Physical quantities reconstructed through the integral

Rate of change	Integral	Reconstructed quantity
Velocity v(t)	$\int v\, dt$	Path s
Force F(x)	$\int F\, dx$	Work W
Current I(t)	$\int I\, dt$	Charge Q
Power P(t)	$\int P\, dt$	Energy E
Linear density $\lambda(x)$	$\int x \cdot \lambda(x)\, dx \,/\, \int \lambda(x)\, dx$	Center of mass $\bar{x}$

The last row of the table – the center of mass – introduces an important additional nuance: the integral does not always simply sum homogeneous small contributions; it can weight the contributions by a certain factor (here, by position x). This idea of weighted summation makes the integral a natural tool beyond mechanics as well – for example, in computing the average value of a function or a probability.

4 The Integral in Technical Sciences

In engineering practice, the integral is rarely computed analytically; numerical methods are predominantly used instead. The trapezoidal rule approximates the area under a curve by a sum of trapezoids built on discrete measurements, while Simpson's rule achieves higher accuracy through quadratic approximation of segments of the curve. These methods underlie numerical modeling, data processing, and simulation in real engineering tasks [1, 10]. This type of activity is also close to inquiry-based approaches in physics education, in which numerical and experimental methods are not an end in themselves but a means of testing and improving a proposed solution [4].

In signal processing, the integral is used to compute the root-mean-square (RMS) value of a signal – a quantity related to the active power delivered by an alternating signal. In control engineering, the integral component of a PID controller accumulates the system's past error over time, complementing the derivative component discussed in the earlier paper – together they give the controller “memory” of the past and “foresight” for the future.

One of the most significant contemporary applications of the integral is in probability theory and statistics. If a random variable X has probability density f(x), the probability that X falls within an interval [a, b] is:

(7) $$P(a \le X \le b) = \int_a^b f(x)\, dx$$

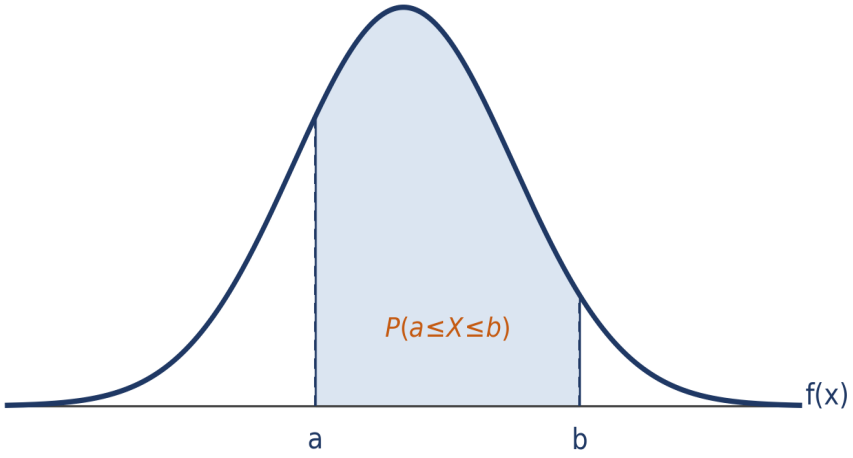


Fig. 2. Probability as the area under the probability density curve

The probabilistic interpretation of the integral reaches one of the deepest applications in the natural sciences – quantum mechanics. There, the state of a particle is described by a wave function ψ(x), and the probability that the particle will be found in an interval [a, b] is given not by ψ(x) itself, but by the square of its modulus:

(8) $$P(a \le x \le b) = \int_a^b |\psi(x)|^2\, dx$$

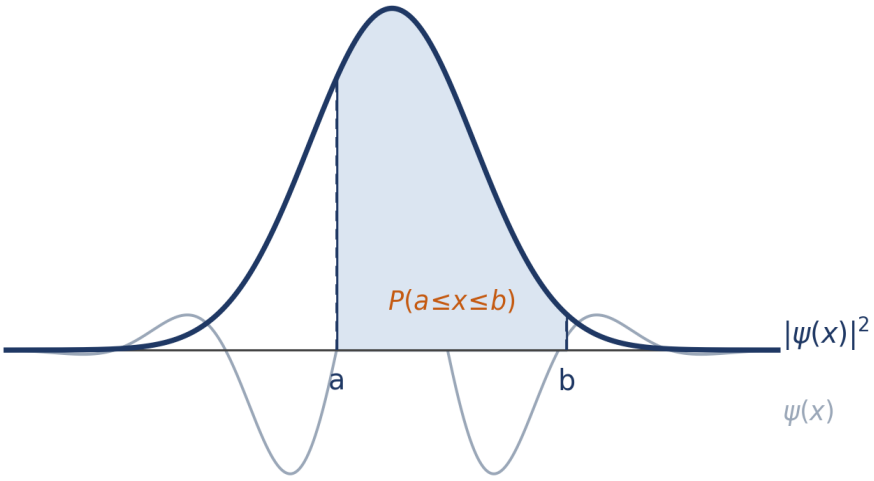


Fig. 3. Probability density $|\psi(x)|^2$ of the position of a quantum particle

The bold curve in the figure is precisely $|\psi(x)|^2$ – the real, non-negative probability density on which the integral is built; the thinner, lighter curve schematically shows $\psi(x)$ itself. An important methodological note: the wave function is in general complex-valued, so the curve of $\psi(x)$ here is a simplified, didactic illustration of its oscillation, not a literal graph of a complex function – the only precise and correct object in the figure is $|\psi(x)|^2$.

This is literally the same geometric idea as in Fig. 2 – probability is the area under a curve – applied to the quantum probability density $|\psi(x)|^2$. In the same way, expectation values of physical quantities in quantum mechanics are defined through an integral rather than through simple derivation – for example, the expected position of the particle:

$$\langle x \rangle = \int x \cdot |\psi(x)|^2 \, dx \tag{9}$$

This parallel shows that the integral does not merely describe probability in a statistical sense – it is built into the very foundations of modern quantum physics.

This relationship underlies modern data analysis and machine learning, where probability distributions and expected values are defined precisely through integrals [9]. In this way, the integral turns out to be a concept that connects classical mechanics with the most contemporary technical fields. A separate engineering application of probabilistic methods is the assessment of vehicle–pedestrian collision risk using Monte Carlo simulation [21].

5 Methodological Model for Integrated Teaching

Analogously to the model proposed for the derivative, integrating the integral into teaching can follow five consecutive stages (fig. 4).

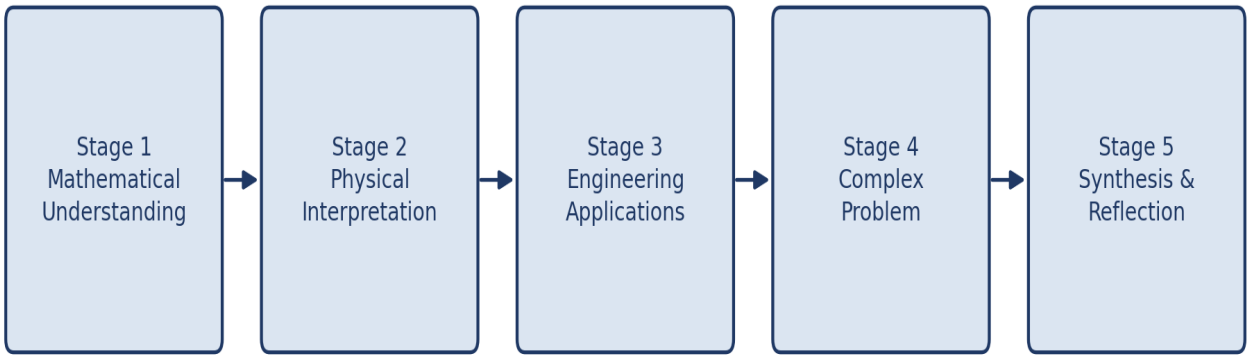


Fig. 4. Methodological model for integrated teaching through the integral

The use of visual and symbolic representations at these stages is consistent with an approach to teaching higher mathematics that connects the choice of teaching methods with the nature of the mathematical concept [17].

Stage 1. Mathematical understanding. The Riemann sum, the geometric meaning of the integral as area, and the Newton–Leibniz formula as the link to the derivative are introduced.

Stage 2. Physical interpretation. The integral is examined through distance, work, charge, and energy – quantities reconstructed from their rate of change.

Stage 3. Engineering applications. Numerical integration methods, energy calculations, and an introduction to the probabilistic interpretation of the integral are presented.

Stage 4. Complex problem. Students are given a case requiring computation via an integral – for example, the work done by a variable force or a probability given a density function. This task can also be organized as a short technological project – with problem analysis, choice of solution, implementation, and evaluation of the result, following the logic of project-based learning [11]. Project-oriented approaches have also been discussed in extracurricular educational activities [24]. The complex problem can also be divided into smaller subproblems, with guidance provided when students encounter difficulties at a particular step, as proposed in the teaching of improper integrals [12].

Stage 5. Synthesis and reflection. The general principle of accumulation and its relationship to the derivative as the inverse operation are drawn out, and students discuss the transfer of knowledge between disciplines.

6 Example from Teaching Practice

In our teaching practice we illustrate the complex problem of Stage 4 through the classic example of work done by a variable force – stretching a spring according to Hooke's law, F(x) = kx. The work required to extend the spring from 0 to x is:

(10) $$W = \int_0^x k \cdot s \, ds = \frac{1}{2}kx^2$$

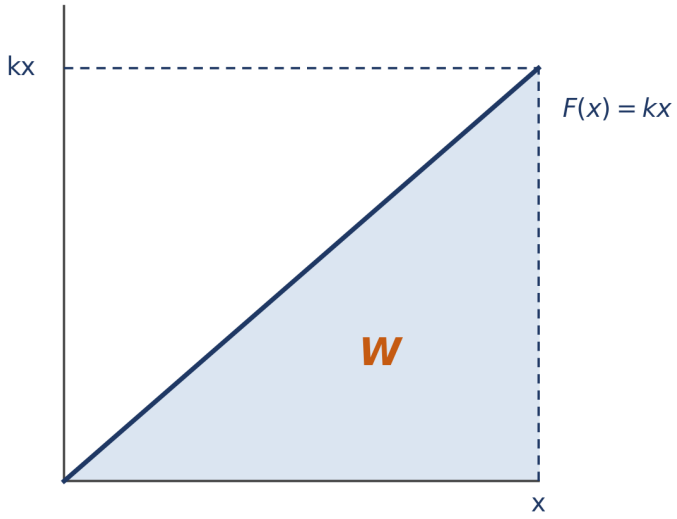


Fig. 5. Work W as the area under the line F(x) = kx

The problem is instructive precisely because it cannot be solved with the elementary formula "work = force × distance" – the force changes with position, so summing countless small contributions kx·dx becomes necessary. This framework enables students to comprehend why the integral is needed exactly where the quantity is not constant.

It is worth noting something pedagogically valuable here, however: although the problem analytically requires an integral, its geometric representation (fig. 5) also allows it to be solved using a formula from the school curriculum – the area of a right triangle is ½·base·height = ½·x·kx = ½kx², exactly the result obtained above by integration. This is not a coincidence but a consequence of the linearity of F(x) = kx: when a dependence is a straight line, the area under it is always an elementary geometric figure. The integral in this example confirms an already-known

result rather than revealing anything fundamentally new – it simply legitimizes a method that becomes necessary precisely where geometry no longer helps.

To see the true necessity of the integral, it is useful to consider a problem in which the dependence is not linear – for example, the work done by an ideal gas during an isothermal process, represented on a P–V diagram. At constant temperature T, the ideal gas law gives pressure as a function of volume:

(11) $$P(V) = nRT / V$$

and the work done during expansion from volume V_1 to V_2 is:

(12) $$W = \int_{V_1}^{V_2} P\, dV = \int_{V_1}^{V_2} (nRT/V)\, dV = nRT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

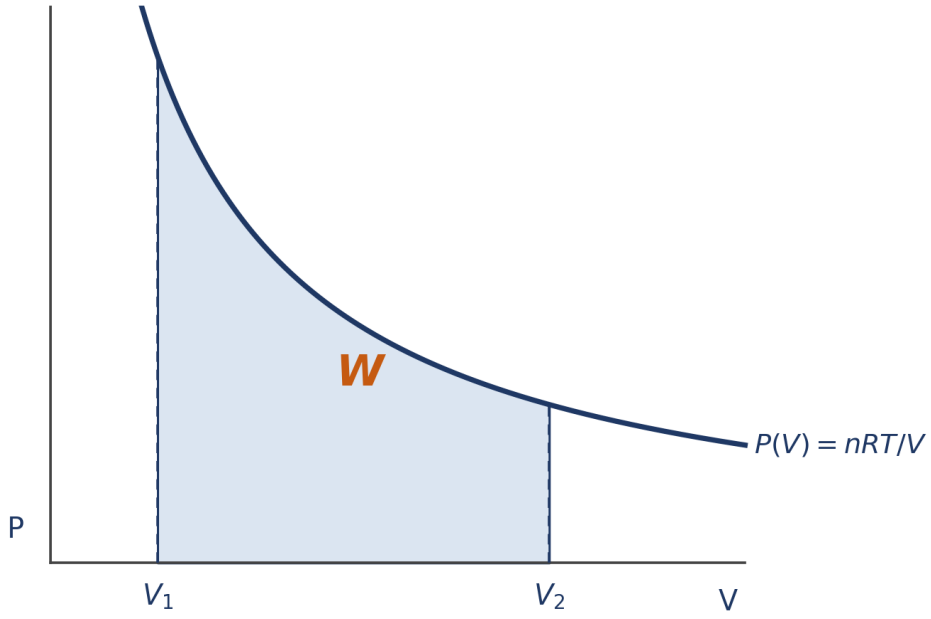


Fig. 6. Work during isothermal expansion – the area under the hyperbola P(V) = nRT/V

Unlike the spring example, here there is no elementary shortcut – either analytical or geometric: the curve is a hyperbola, and the area beneath it is not a figure known from the school geometry curriculum. The result contains a logarithm rather than a polynomial, which is characteristic of integrating a function of the form 1/V. Note also that if the process were represented on a T–V diagram instead of a P–V diagram, the isothermal curve would degenerate into a horizontal line (T = const), and the area could again be computed elementarily as the area of a rectangle – which is precisely why the choice of a P–V diagram is essential for the illustration. Comparing the two examples – linear and hyperbolic – shows students when the integral is merely a convenient tool confirming an already-known result, and when it is the only possible path to the solution.

After the calculation, students can also carry out a short practical measurement – for example with a spring scale and a ruler – and compare the work predicted by the formula with the measured value. The discrepancy between prediction and measurement is discussed and analyzed, and if

needed, the model or the measurement is adjusted. This step of evaluation and reflection closes the loop between theoretical calculation and practical verification [4].

With more advanced groups we also include a short example involving a probability density – for instance, a uniform distribution over an interval – to show that "area under a curve" and "probability" are computationally one and the same object. Such examples illustrate the broader idea of interdisciplinary connections between mathematics and computer science, also addressed in the Bulgarian methodological literature [16]. The use of the e-Learning Shell system in engineering education is discussed in [18].

In practice, the classes revolve around complex cases rather than isolated problems: work done by a variable force, numerical computation of area from tabular data, calculation of probability from a given density. Observations of student work reveal a trend analogous to that found with the derivative: when the integral is presented simultaneously as a mathematical object and as a means of accumulating a real process, understanding is retained longer. These observations are qualitative in nature; a more thorough empirical verification remains to be carried out. The application of artificial intelligence in geodesy teaching provides a separate example of technology-supported education [22].

7 Conclusion

The integral and the derivative are the two complementary faces of mathematical analysis: one measures the rate of change, the other reconstructs the accumulated result of that rate. When the two concepts are presented – as in the present and the earlier paper – students build a more complete picture of change as a unifying principle of mathematics, physics, and technical sciences.

The proposed five-stage model for the integral is a direct continuation of the model for the derivative and confirms that the approach is generalizable: definition, physical interpretation, engineering application, and complex problem can organize teaching across different topics of mathematical analysis in one and the same sequential way.

The engineering calculations through the integral discussed here also fit into a broader process of technological thinking – from problem analysis, through solution design, to practical implementation and evaluation – developed in more detail in a parallel paper devoted to the integration of physics and technology education.

Future work remains the empirical verification of the model, as well as its extension to other areas of analysis – series, differential equations, and vector analysis – with the aim of building a comprehensive integrated mathematics program for technical specialties.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Apostol, T. M. (1967). Calculus, Vol. 1. New York: Wiley.

[2] Bybee, R. W. (2013). The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.

[3] de Vries, M. J. (2016). Teaching about Technology: An Introduction to the Philosophy of Technology for Non-philosophers (2nd ed.). Cham: Springer.

[4] Etkina, E., Van Heuvelen, A. (2007). Investigative Science Learning Environment: A Science Process Approach to Learning Physics. In E. F. Redish & P. J. Cooney (Eds.), Research-Based Reform of University Physics. College Park, MD: American Association of Physics Teachers.

[5] European Commission. (2019). Key Competences for Lifelong Learning. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

[6] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2014). Fundamentals of Physics (10th ed.). Hoboken: Wiley.

[7] International Technology and Engineering Educators Association. (2020). Standards for Technological and Engineering Literacy. Reston, VA: ITEEA.

[8] National Research Council. (2012). A Framework for K–12 Science Education. Washington, DC: National Academies Press.

[9] Ross, S. M. (2010). A First Course in Probability (8th ed.). Boston: Pearson.

[10] Stewart, J. (2016). Calculus (8th ed.). Boston: Cengage Learning.

[11] Thomas, J. W. (2000). A Review of the Research on Project-Based Learning. San Rafael, CA: The Autodesk Foundation.

[12] Todorova-Lazarova, V. P., Todorov, T. D. (2024). Some Aspects of Teaching Improper Integrals in an Electronic Environment. Mathematics, 12(17), 2732. https://doi.org/10.3390/math12172732

[13] Young, H. D., Freedman, R. A. (2016). University Physics with Modern Physics (14th ed.). Boston: Pearson.

[14] Vasileva-Ivanova, R. (2014). The Competence-Based Approach in Mathematics Education [in Bulgarian]. Proceedings of the University of Ruse, 53(6.2), 180–185.

[15] Izvorska, D. (2023). The Relationship between Critical Thinking and the Competence-Based Approach in Higher Mathematics Education [in Bulgarian]. Pedagogika. https://doi.org/10.53656/ped2023-8.6

[16] Karashtranova, E., Atanasova, I., Borisova, N. (2024). Possibilities for Developing Educational Resources to Establish Interdisciplinary Connections between Mathematics and Computer Science [in Bulgarian]. https://doi.org/10.53656/math2024-6-2-opp

[17] Todorova-Lazarova, V. P. (2026). Interactive Methods and Specific Features of Teaching Higher Mathematics. Management and Education, 22(3), 71–79. [in Bulgarian].

[18] Христов Х., Цанков Ц. Използване на системата e-Learning Shell в обучението по инженерните дисциплини. Научна конференция на Факултета по технически науки, Шумен, 2009/2010, ISSN 1311-834X.

[19] Todorov, T. D., Todorova-Lazarova, V. P. Multi-Objective Approach to Simultaneous Teaching of Thematically Related Methodological Units. Part I: Description of the Method. Proceedings of the International Conference New Perspectives in Science Education, Florence, Italy, 2026.

[20] Todorov, T. D., Todorova-Lazarova, V. P. Multi-Objective Approach to Simultaneous Teaching of Thematically Related Methodological Units. Part II: Implementation. Proceedings of the International Conference New Perspectives in Science Education, Florence, Italy, 2026.

[21] Petrov, Y. Probabilistic Assessment of Vehicle–Pedestrian Collision Risk at a Crosswalk Using the Monte Carlo Method. Black Sea Journal of Engineering and Transport, Vol. 2, 2026, pp. 8–11. ISSN 3033-2885.

[22] Stefanova, A. Application of Artificial Intelligence in Geodesy Teaching [in Bulgarian]. Third National Scientific and Practical Conference “Digital Transformation of Education – Problems and Solutions”, Ruse, 24–25 April 2025, pp. 415–419. ISSN 3033-0610, ISSN 3033-0629.

[23] Burova, I. Interdisciplinary Education in Technology and Entrepreneurship in Primary School [in Bulgarian]. In: Designing Green STEAM Zones, 2024, pp. 44–52.

[24] Burova, I. The Project-Oriented Approach in Extracurricular Forms of Education [in Bulgarian]. 2024, pp. 65–73.

INTEGRATED MANAGEMENT OF SAFETY, HUMAN FACTORS AND SUSTAINABILITY IN ENGINEERING LOGISTICS SYSTEMS*

YORDANKA I. YANKOVA-YORDANOVA

ABSTRACT: *This paper proposes HuSE-L, a conceptual framework for the joint consideration of human factors, safety, environmental impact and logistics performance in engineering-logistics systems. The study is theoretical and applied, combining systems and comparative analysis of Industry 5.0 principles, ISO 45001, ISO 14001 and ISO 31000 with peer-reviewed research on socio-technical systems and safety. HuSE-L structures four interconnected dimensions–Human, Safety, Environment and Logistics–and links them through diagnostic questions and indicative measures. The framework is intended to support the assessment of design and process changes, but it does not replace specialised risk or environmental assessment and has not yet been empirically validated.*

KEYWORDS: *engineering logistics, safety, human factors, environmental sustainability, Industry 5.0, risk management*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26YIN

ИНТЕГРИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА, ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР И УСТОЙЧИВОСТТА В ИНЖЕНЕРНО-ЛОГИСТИЧНИТЕ СИСТЕМИ

ЙОРДАНКА И. ЯНКОВА-ЙОРДАНОВА

АБСТРАКТ: *Публикацията предлага концептуалния модел HuSE-L за съвместно разглеждане на човешкия фактор, безопасността, екологичното въздействие и логистичния резултат в инженерно-логистични системи. Изследването има теоретико-приложен характер и съчетава системен и сравнителен анализ на принципите на Industry 5.0, ISO 45001, ISO 14001 и ISO 31000 с рецензирани изследвания за социотехнически системи и безопасност. HuSE-L включва четири взаимосвързани измерения – Human, Safety, Environment и Logistics, за които са формулирани диагностични въпроси и примерни показатели. Рамката не замества специализираните оценки на риска и екологичното въздействие и подлежи на последващо емпирично апробиране.*

1 Въведение

В инженерно-логистичните системи едно решение рядко има само технически или икономически последици. Промяната на складов маршрут например може да съкрати времето за обработка, но едновременно с това да увеличи пресичането на пешеходни и транспортни потоци. Ускоряването на производствен ритъм може да повиши изхода на системата, но да доведе до по-голямо физическо и когнитивно натоварване. Изборът на опаковка влияе не само върху цената и защитата на продукта, а и върху отпадъците, обратните потоци и условията на труд. Тъкмо тези взаимовръзки налагат логистичното решение да бъде разглеждано като част от по-широка социотехническа система.

Концепцията Industry 5.0 насочва вниманието към три взаимосвързани приоритета: човекоцентричност, екологична устойчивост и устойчивост при смущения (resilience) [1]–[3]. Тя не отхвърля автоматизацията и цифровизацията, а разширява критерия за

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

технологичен напредък, като поставя редом с производителността благосъстоянието и компетентностите на работещите, екологичната отговорност и способността на системата да се адаптира при нарушения. Рецензираните изследвания върху Industry 5.0 също подчертават взаимодействието между човека и цифровите технологии, както и значението на човекоцентричното проектиране на производствени и логистични системи [4], [5]. За инженерната логистика това означава, че оптимизацията на материалните и информационните потоци следва да отчита безопасността и здравето при работа, ергономичните ограничения, екологичните последици и устойчивостта на процеса при смущения.

Целта на публикацията е да предложи концептуален модел за интегрирано управление на безопасността, човешкия фактор, екологичната устойчивост и логистичния резултат. Обект на изследването са складови, производствено-логистични и транспортно-логистични системи. Предмет е връзката между условията на труд, риска, екологичното въздействие и оперативната ефективност при вземането на инженерни и управленски решения.

Работната теза на изследването е, че по-пълната оценка на инженерно-логистичните решения изисква съвместно разглеждане на технологичните и икономическите показатели с човешкото натоварване, безопасността и екологичните аспекти още при проектирането и промяната на процеса. Тази теза има концептуален характер и в настоящото изследване служи като основа за структуриране на предложената рамка, а не като емпирично доказана причинно-следствена зависимост.

2 Теоретична основа на интегрирания подход

Социотехническият подход разглежда организацията като система, в която техническата и социалната подсистема се влияят взаимно, а проектирането на работата следва да отчита едновременно технологичните и човешките изисквания [6]. В логистиката тази зависимост се наблюдава ежедневно: операторът работи с техника, следва цифрови или писмени инструкции, реагира на промени в поръчките и координира действията си с други участници. Следователно грешката не трябва автоматично да се обяснява само с поведението на отделния човек. Необходимо е да се анализират условията, които са направили грешката възможна – организацията на работата, интерфейсът, натоварването, обучението, поддръжката и комуникацията.

Reason [7] показва, че организационните инциденти обикновено възникват при съчетаване на активни грешки и скрити системни слабости. Dekker [8] насочва анализа от търсенето на виновен към разбирането на условията, при които дадено действие е изглеждало разумно. Hollnagel [9] допълва тази перспектива с разграничението между Safety-I, насочена към причините за неблагоприятните събития, и Safety-II, която изследва защо работата обичайно протича успешно при променливи условия. Съвременният обзор на Ham [10] потвърждава значението на вариабилността на изпълнението и на проактивния анализ при сложни социотехнически системи. За логистичните процеси това означава да се регистрират не само инцидентите, но и потенциалните инциденти, отклоненията, успешните адаптации и предложенията на работещите.

ISO 45001:2018 [11] поставя акцент върху идентифицирането на опасностите, участието на работещите, управлението на промените и непрекъснатото подобряване; действащото издание е допълнено с ISO 45001:2018 [11]/Amd 1:2024 [12]. ISO 14001:2026 [13] изисква системно управление на екологичните аспекти и разглеждане на жизнения цикъл, а ISO 31000:2018 [14] предоставя принципи, рамка и процес за управление на риска. Стандартите имат различен непосредствен предмет и не следва да се представят като

идентични по структура. Между тях обаче съществува концептуална съвместимост по отношение на отчитането на организационния контекст, риска, участието на заинтересованите страни, наблюдението на резултатите и непрекъснатото подобряване.

В този контекст терминът устойчивост трябва да се използва прецизно. В публикацията „екологична устойчивост“ се отнася до ресурсите, емисиите, отпадъците и въздействието върху околната среда. „Устойчивост при смущения“ обозначава способността на логистичната система да запази или възстанови функциите си. Двете понятия са свързани, но не са взаимозаменяеми.

3 Методологичен подход

Изследването е концептуално и има теоретико-приложна насоченост. Използван е системен анализ за определяне на основните елементи и връзки в инженерно-логистичната система. Чрез сравнителен анализ са съпоставени принципите на Industry 5.0 и постановките на международните стандарти за здраве и безопасност при работа, екологично управление и управление на риска. Методът на синтеза е приложен при обединяването им в обща рамка за управленска диагностика. Теоретичната база съчетава международни стандарти и институционални доклади с рецензирани научни публикации в областта на Industry 5.0, човешкия фактор и resilience engineering [3]–[5], [10]. Подборът на източниците е целеви и служи за концептуалното обосноваване на модела; изследването не претендира да представлява систематичен литературен обзор.

Разработването на модела преминава през три логически стъпки. Първо се определят областите, върху които логистичното решение оказва непосредствено влияние. След това за всяка област се формулира диагностичен въпрос, който може да се използва преди въвеждане на промяна. Накрая се подбират примерни показатели, чрез които анализът може да бъде адаптиран към конкретна организация. Така предложеният модел има характер на структуриращa рамка, а не на универсална математическа формула.

На този етап моделът не е емпирично валидиран. Поради това изводите се отнасят до неговата концептуална обоснованост и възможна приложимост. Като следващ етап е предвидено експертно оценяване и пилотно апробиране за проверка на съдържателната валидност, разбираемостта и приложимостта на модела.

4 Безопасност, човешки фактор и екологична устойчивост

Безопасността в логистичните системи не се изчерпва с инструкции, лични предпазни средства и периодични проверки. Тя зависи и от пространственото разположение на работните зони, разделянето на пешеходните и транспортните потоци, видимостта, техническата изправност, темпа на работа и начина, по който се съобщават отклоненията. Подобен системен прочит е съвместим с логиката на ISO 45001:2018 [11], която поставя акцент върху идентифицирането на опасностите, участието на работещите и управлението на промените. Формалното наличие на процедура само по себе си не е достатъчно, ако тя не съответства на реалните условия на изпълнение.

Човешкият фактор включва компетентност, опит, внимание, умора, мотивация, комуникация и възприятие за риск. Въвеждането на автоматизирани и основани на изкуствен интелект системи не премахва човешкия фактор, а променя неговата роля. Част от физическите действия се заменят с наблюдение, интерпретация на информация, вземане на решения и реакция при нетипични ситуации. Това може да намали излагането на някои физически опасности, но едновременно с това да създаде нови рискови конфигурации, свързани с когнитивно натоварване, ситуационна осведоменост, доверие в автоматизацията, алгоритмично управление и цифрово наблюдение [15], [16].

Международната организация на труда разглежда автоматизацията, усъвършенстваната роботика, интелигентните системи за наблюдение и алгоритмичното управление като технологии с потенциал да подпомогнат превенцията и да ограничат определени професионални рискове. Същевременно ILO [16] подчертава необходимостта от адаптивни превантивни подходи, подходящо обучение и участие на работещите при въвеждане на цифрови решения. Следователно човекоцентричният подход не означава отказ от технологии. Той означава технологиите да бъдат проектирани и управлявани така, че да подпомагат човешките способности, без да пренебрегват техните ограничения и нововъзникващите рискове.

Екологичната устойчивост добавя оценка на потреблението на енергия и материали, емисиите, отпадъците, опаковките и обратните потоци. Тези показатели често са свързани и с разходите, но съвпадението не е автоматично. Възможно е решение с по-ниска краткосрочна цена да увеличи отпадъците или да прехвърли част от въздействието към друг етап от жизнения цикъл. Поради това екологичният аспект следва да бъде включван още при сравняването на варианти, в съответствие с жизненоцикловата перспектива на ISO 14001:2026 [13].

5 Концептуален модел HuSE-L

Предлага се моделът HuSE-L, чието наименование произлиза от Human, Safety, Environment и Logistics. Обозначението „Hu“ е избрано съзнателно, за да се избегне терминологично смесване с широко утвърденото съкращение HSE (Health, Safety and Environment). В модела Human поставя акцент върху човешките способности, компетентности, натоварване, участие и поведение. Аспектите на професионалното здраве и безопасността не се свеждат един до друг; те се отчитат според характера на конкретния показател в измеренията Human и Safety. По този начин моделът запазва човекоцентричната логика, без да променя утвърденото значение на HSE в професионалната практика.

Таблица 1. Структура на концептуалния модел HuSE-L

Измерение	Съдържание	Основен диагностичен въпрос
Human Човек	Компетентност, физическо и когнитивно натоварване, участие, комуникация, мотивация	Съобразено ли е решението с възможностите и ограниченията на хората?
Safety Безопасност	Професионално здраве и безопасност; опасности; риск; инциденти; потенциални инциденти; техническа изправност; готовност за реакция	Какви рискове възникват и достатъчни ли са мерките за тяхното управление?
Environment Околна среда	Енергия, материали, емисии, отпадъци, опаковки, въздействие през жизнения цикъл	Какво екологично въздействие създава решението и може ли то да бъде намалено?
Logistics Логистика	Време, разходи, качество, точност, надеждност, гъвкавост и възстановяване при смущения	Подобрява ли решението резултата, без да прехвърля неприемлив риск към хората или средата?

Моделът започва с конкретната логистична операция или планирана промяна. Анализът преминава последователно през четирите измерения, но решението се взема въз основа на връзките между тях. Ако съкращаването на маршрут намалява времето, но увеличава пресичането на потоци и риска от сблъсък, логистичната полза не трябва да се

разглежда изолирано. По същия начин по-леката опаковка може да намали ресурсното потребление, но да увеличи повредите и обратните доставки.

Съществена особеност на предложената рамка HuSE-L е включването на логистичния резултат като равнопоставено измерение. В рамката безопасността и екологичните показатели не се третират единствено като външни ограничения, проверявани след оптимизацията, а се включват в самото обсъждане на приемливото решение. Така моделът насочва анализа към търсене на балансиран вариант, вместо към механично максимизиране на един показател. Тази формулировка описва логиката на предложения модел и не претендира за установена уникалност спрямо всички съществуващи интегрирани подходи.

Практическото приложение може да се организира чрез кратка диагностична процедура: описание на операцията; определяне на засегнатите лица и процеси; идентифициране на опасностите и екологичните аспекти; избор на показатели; сравнение на варианти; документиране на решението; последващо наблюдение. Когато характерът на дейността и приложимите нормативни или организационни изисквания го налагат, тази процедура следва да се допълва със специализирани методи за оценка на риска и с участие на компетентни лица.

6 Показатели и приложение на модела

Показателите трябва да се избират според процеса, характера на риска и наличните надеждни данни. Те могат да бъдат количествени и качествени, както и изпреварващи (leading) и последващи (lagging). Броят на инцидентите например е типичен последващ показател, докато наблюденията на работното място, изпълнението на коригиращи действия и други проактивни дейности могат да се използват като изпреварващи индикатори [17]. Границата между двете групи невинаги е абсолютна, поради което показателите следва да се тълкуват в контекста на конкретния процес и да се проследяват във времето, а не да се използват изолирано.

Таблица 2. Примерни показатели за интегриран анализ

Област	Примерни показатели	Управленска употреба
Човешки фактор	Физическо и когнитивно натоварване; време за обучение; грешки по вид; предложения от работещите; текучество	Оценка на пригодността на работното място и необходимостта от обучение или организационна промяна
Безопасност	Инциденти; потенциални инциденти; опасни ситуации; технически откази; изпълнение на мерки; време за реакция	Оценка на превенцията, техническата надеждност и готовността за действие
Околна среда	Енергия на единица обработен товар; отпадъци; повторна употреба на опаковки; емисии; разливи	Оценка на ресурсната ефективност и екологичното въздействие
Логистичен резултат	Време на цикъла; точност на комплектоване; повреди; разход на операция; надеждност на доставката	Оценка на оперативната ефективност и качеството на обслужване
Управление	Яснота на отговорностите; приключени коригиращи действия; участие на персонала; актуалност на процедурите	Оценка на способността на организацията да поддържа и подобрява процеса

Показателите не следва да се натрупват механично. По-полезно е да се избере ограничен набор, който отговаря на конкретния риск и позволява наблюдение във времето. В склад с интензивно движение например могат да се съпоставят времето за обработка, броят на конфликтните точки, сигналите за опасни ситуации и умората в края на смяната. При оценяване на нова опаковъчна технология могат да се анализират разходът на материал, процентът на повредите, ръчните усилия и количеството отпадък.

Предвидените области за приложение на HuSE-L включват проектиране на складови зони, промяна на маршрутите, избор на подемно-транспортна техника, въвеждане на автоматизация, оценяване на инвестиционни проекти и разработване на вътрешни инструкции. Тъй като моделът все още не е емпирично апробиран, тези области следва да се разглеждат като потенциални приложения, които подлежат на проверка в конкретна организационна среда. В учебния процес рамката може да се използва като основа за казуси, при които студентите сравняват технически допустими варианти и аргументират избора си чрез показатели от четирите измерения.

Приложението на HuSE-L предполага участие на различни специалисти. Инженерът познава техническите ограничения, специалистът по безопасност оценява опасностите, екологът анализира аспектите и въздействията, логистикът проследява резултата, а работещите дават информация за реалното изпълнение. Съчетаването на тези гледни точки има за цел да повиши обосноваността на решението, като информацията се събира преди промяната и се проверява след нейното въвеждане.

7 Дискусия и ограничения

Потенциално предимство на предложения модел е, че подрежда в обща рамка въпроси, които в практиката често се разглеждат от различни звена. Той може да подпомогне професионалния диалог между ръководители, инженери, специалисти по безопасност и здраве при работа, еколози, логистици и работещи. Компактната структура може да улесни използването му, но същевременно представлява и ограничение: четирите измерения не могат да обхванат изчерпателно всички отраслови, правни и технологични особености. HuSE-L следва да се разглежда като диагностична и интегрираща рамка, а не като заместител на нормативно изискуеми оценки или на специализираните методи за оценяване на професионален, технически и екологичен риск.

HuSE-L не определя универсални тегла на показателите и не предлага единна формула за интегрална оценка. Подобно решение би било преждевременно, тъй като значимостта на риска и допустимите компромиси зависят от процеса, мащаба, нормативните изисквания и конкретните последици. При бъдещо емпирично изследване може да се провери дали експертите оценяват четирите измерения като достатъчни, кои показатели са най-информативни и при какви условия е методологично оправдано използването на претеглена многокритериална оценка. Настоящата експертна карта има предварителен диагностичен характер и не следва да се третира като стандартизирана психометрична скала. Ако на следващ етап бъде разработен композитен измервателен инструмент, определянето на тегла следва да бъде предшествано от проверка на съдържателната валидност и, при подходяща многопозиционна структура, на надеждността му.

Друго съществено ограничение е липсата на апробиране в конкретна организация. Следващ етап на изследването може да включи експертно проучване, пилотно приложение в складов или производствен процес и сравнение на подбрани показатели преди и след промяна. Това би позволило рамката да бъде уточнена въз основа на наблюдавани данни,

да се оценят разбираемостта и приложимостта на показателите и да се избегне приписване на емпирична валидност единствено въз основа на концептуална съгласуваност.

8 Заключение

Инженерно-логистичната система е ефективна, когато постига необходимия резултат при приемлив риск за хората и околната среда. Разходите и времето остават важни, но не са достатъчни за оценяване на решение, което променя условията на труд, натоварването, ресурсното потребление или способността за реакция при смущение.

Моделът HuSE-L предлага обща рамка за свързване на човешкия фактор, безопасността, екологичното въздействие и логистичния резултат. Неговото предназначение е да подпомага формулирането на релевантни диагностични въпроси преди въвеждането на промяна и да насочва избора на показатели за последващ контрол. Моделът има потенциал за приложение в практиката и обучението, но се нуждае от емпирично апробиране и адаптиране към конкретни процеси.

Основни резултати и научно приложен принос

1. Систематизирана е връзката между принципите на Industry 5.0 и управлението на безопасността, човешкия фактор, екологичните аспекти и логистичната ефективност.

2. Предложен е концептуалният модел HuSE-L, в който логистичният резултат е равнопоставено измерение наред с човека, безопасността и околната среда.

3. Формулирани са диагностични въпроси и примерни показатели за предварителна и последваща оценка на инженерно-логистични решения.

4. Очертана е процедура за прилагане на модела при проектиране и промяна на складови, производствени и транспортно-логистични процеси.

5. Очертан е последващ етап за експертно и пилотно апробиране на съдържателната валидност, разбираемостта и потенциалната приложимост на HuSE-L.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union, 2021.

[2] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. Industry 5.0 Community of Practice (CoP 5.0): Pilot phase, Nov. 2023–Oct. 2024. Draft final report, 2024.

[3] Ivanov D. The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. International Journal of Production Research, 61(5), 2023, pp. 1683–1695. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892

[4] Maddikunta P. K. R., Pham Q.-V., B P., Deepa N., Dev K., Gadekallu T. R., Ruby R., Liyanage M. Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. Journal of Industrial Information Integration, 26, 2022, 100257. https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257

[5] Alves J., Lima T. M., Gaspar P. D. Is Industry 5.0 a Human-Centred Approach? A Systematic Review. Processes, 11(1), 2023, 193. https://doi.org/10.3390/pr11010193

[6] Baxter G., Sommerville I. Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. Interacting with Computers, 23(1), 2011, pp. 4–17. https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003

[7] Reason J. Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate, 1997.

[8] Dekker S. Safety Differently: Human Factors for a New Era. 2nd ed., CRC Press, 2014.

[9] Hollnagel E. Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate, 2014.

[10] Ham D.-H. Safety-II and resilience engineering in a nutshell: An introductory guide to their concepts and methods. Safety and Health at Work, 12(1), 2021, pp. 10–19. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.11.004

[11] International Organization for Standardization. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. ISO, 2018.

[12] International Organization for Standardization. ISO 45001:2018/Amd 1:2024 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use – Amendment 1: Climate action changes. ISO, 2024.

[13] International Organization for Standardization. ISO 14001:2026 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. ISO, 2026.

[14] International Organization for Standardization. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. ISO, 2018.

[15] European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Advanced robotics, artificial intelligence and the automation of tasks: Definitions, uses, policies and strategies and occupational safety and health. EU-OSHA, 2022. https://doi.org/10.2802/681779

[16] International Labour Organization. Revolutionizing health and safety: The role of AI and digitalization at work. ILO, 2025. https://doi.org/10.54394/KNZE0733

[17] Sheehan C., Donohue R., Shea T., Cooper B., De Cieri H. Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership. Accident Analysis & Prevention, 92, 2016, pp. 130–138. https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.03.018

LOGISTICAL AND TECHNOLOGICAL CONSTRAINTS IN HELIUM-3 EXTRACTION AND TRANSPORT FROM THE MOON TO EARTH*

KLIMENT S. NIKOLOV

ABSTRACT: *This paper investigates the logistics chain for extracting helium-3 from lunar regolith and returning it to Earth using a reusable electromagnetic launch system. A comparative model is developed for annual production of 10, 100 and 1000 kg of ³He. At a baseline concentration of 10 ppb and an overall recovery factor of 66%, the required regolith throughput is 1.52, 15.15 and 151.52 million tonnes per year, respectively. For the industrial scenario, this corresponds to processing about 30.6 km² per year to a depth of 3 m and approximately 30 equivalent Mark III modules. The nominal 50 launches per year at a 20 kg payload are far below the stated capacity of the magnetic launch system. Therefore, transport from the lunar surface is not the main quantitative constraint. The dominant constraints are resource characterisation, continuous excavation and heating of regolith, isotope separation, equipment reliability and packaging of ³He for accelerations exceeding 10,000 g. It is also shown that the general-purpose payload of the return capsule cannot automatically be treated as a helium-3 payload because the pressure vessel or cryogenic system adds substantial mass.*

KEYWORDS: *helium-3, lunar regolith, space logistics, magnetic launcher, ISRU, scenario analysis*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26KSN

ЛОГИСТИЧНИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ДОБИВА И ТРАНСПОРТИРАНЕТО НА ХЕЛИЙ 3 ОТ ЛУНАТА ДО ЗЕМЯТА

КЛИМЕНТ С. НИКОЛОВ

АБСТРАКТ: *Докладът изследва логистичната верига за добив на хелий 3 от лунния реголит и връщането му на Земята чрез многократно използваема електромагнитна система за изстрелване. Разработен е сравнителен модел за производство на 10, 100 и 1000 kg ³He годишно. При базова концентрация 10 ppb и общ коефициент на извличане 66% необходимият реголит е съответно 1,52, 15,15 и 151,52 млн. t годишно. За промишления сценарий това означава обработване на около 30,6 km² годишно при дълбочина 3 m и приблизително 30 еквивалентни модула от типа Mark III. Номиналните 50 изстрелвания годишно при полезен товар 20 kg са далеч под заявения капацитет на магнитната система. Следователно транспортът от лунната повърхност не е основното количествено ограничение. Доминиращи са проучването на находището, непрекъснатото преместване и нагряване на реголита, изотопното разделяне, надеждността на оборудването и опаковането на ³He за натоварвания над 10 000 g. Показано е също, че универсалният полезен товар на връщащата капсула не може автоматично да се приеме за полезен товар от хелий 3, защото съдът под налягане или криогенната система добавят значителна маса.*

1 Въведение

Хелий 3 е стабилен изотоп с приложения в криогениката и неутронната детекция и с потенциално бъдещо приложение като гориво в реакцията деутерий–хелий 3. На Земята достъпните количества са ограничени, докато слънчевият вятър е имплантирал ³He в

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

повърхностните зърна на лунния реголит в продължение на милиарди години. Измерванията на проби от Apollo 11 дават средна концентрация 11,8 ppb и диапазон 9,22–17,9 ppb [1]. Глобалните оценки, основани на данни от Chang'E 1, предполагат голям общ запас, но тези оценки не представляват доказани и икономически извлекаеми запаси [3, 7].

Ниската концентрация променя характера на задачата. Връщането на няколко килограма пречистен газ изглежда транспортно лесно, но преди него трябва да бъдат проучени, изкопани, сортирани и обработени милиони тонове материал. Поради това системата трябва да се разглежда като производствена и логистична мрежа, а не като единична космическа мисия. В нея участват добивни машини, топлинни процеси, газови инсталации, енергийни източници, складове, автономни транспортни средства, ремонтна база, изстрелваща система и наземна инфраструктура за приемане.

През 2024 г. Zhang и съавтори предлагат лунна магнитно левитираща ротационна система за многократно изстрелване на малки връщащи капсули [4, 5]. Концепцията предвижда капсула с обща маса 50 kg, номинален полезен товар 15–20 kg, поне две изстрелвания дневно при подходящ енергиен режим и годишен полезен товар над 5 t. Същият източник посочва над 10 000 g натоварване върху края на рамото и максимална входна мощност около 20 MW. Тези показатели правят системата интересна за масови потоци, но поставят специфични изисквания към контейнеризацията на газообразен или криогенен ^{3}He.

2 Цел и методика

Целта е да се определи кой етап ограничава капацитета на веригата Луна–Земя при различни производствени мащаби. Обект на изследване е материалният поток от необработен реголит до възстановена на Земята капсула. Предмет на изследване са необходимата производителност, площта на добива, топлинната и механичната мощност, броят изстрелвания и логистичните рискове.

Използван е детерминиран сравнителен модел за три сценария: пилотен – 10 kg ^{3}He годишно, междинен – 100 kg годишно, и промишлен – 1000 kg годишно. Моделът стъпва върху параметрите на концепцията Mark III, обобщени от NASA [1], и върху публикуваните характеристики на магнитната система [4]. Резултатите са оценки от първи ред. Те не са проектна спецификация и не включват пълен финансов модел, масата за изграждане на базата, вероятността за откази и загубите при атмосферното връщане.

Масата на реголита се определя от

$$M_{reg} = \frac{M_{3He}}{c \cdot \eta}$$

където Mreg е годишната маса на обработвания реголит, M3He е целевото количество продукт, c е масовата концентрация, а η е общият коефициент на извличане. Площта на нарушената повърхност се оценява при средна насипна плътност 1650 kg/m^3 и дълбочина 3 m.

$$A = \frac{M_{reg}}{\rho \cdot h}$$

Броят връщащи капсули е отношението между годишното количество ^{3}He и номиналния полезен товар на една капсула, закръглено нагоре. Теоретичната минимална кинетична енергия е изчислена за скорост 2,4 km/s. Тя не включва ускоряването на рамото, загубите, управлението и енергията за възстановяване на баланса след отделяне.

Таблица 1. Основни допускания на сравнителния модел

Параметър	Базова стойност	Основание
Концентрация c	10 ppb	Предположение на Mark III и близко до пробите Apollo 11 [1]
Общ добив η	66%	Изведен от 33 kg/y при около 5 млн. t/y и 10 ppb [1]
Дълбочина h	3 m	Концепция Mark III [1]
Капацитет на един модул	33 kg ^{3}He/y	3942 работни часа годишно [1]
Изкопаване и нагряване	1258 и 556 t/h	Mark III [1]
Топлинна мощност	12,3 MW	85% възстановяване на топлина [1]
Електрическа мощност на миньора	0,35 MW	Концептуална стойност [1]
Капсула	50 kg общо 20 kg товар	Публикувана ротационна система [4]
Скорост за оценката	2,4 km/s	Приблизителна скорост за напускане на Луната

3 Логистична архитектура

Веригата започва с геоложко проучване и картографиране на концентрацията, гранулометрията, дебелината и достъпността на реголита. Дистанционните оценки не са достатъчни за инвестиционно решение, защото малка грешка в концентрацията променя линейно необходимия материален поток. Smith-Vaniz и съавтори определят геоложката неопределеност като първото ограничение пред надежден DCF или NPV модел на лунна мина [7].

След добива материалът се пресява, за да се отдели фината фракция. При Apollo 11 около 88% от хелия се намира в частици под 100 μm [1]. Следва нагряване във вакуум, при което приблизително 50% от ^{3}He се освобождава до 500 °C и около 95% до 800 °C [1]. Mark III използва 700 °C, противотоков топлообмен и възстановяване на топлина. Извлеченият поток съдържа H_2, ^{4}He, H_2O, N_2, CH_4, CO и CO_2. Тези съпътстващи вещества могат да имат местна стойност, но увеличават сложността на компресирането, разделянето и складирането.

След пречистване е необходимо изотопно разделяне на ^{3}He от много по-големия поток ^{4}He. Готовият продукт трябва да бъде складиран, транспортиран до изстрелващата площадка, интегриран във връщаща капсула и освободен с точност, достатъчна за лунно-земна траектория. На Земята са необходими проследяване, безопасно атмосферно навлизане, локализиране и възстановяване на капсулата, приемен терминал и доставка до крайния потребител.



Фиг. 1. Логистична верига за добив и връщане на лунен хелий 3

4 Резултати от сравнителните сценарии

Таблица 2. Количествени резултати

Показател	10 kg/y	100 kg/y	1000 kg/y
Реголит млн. t/y	1,52	15,15	151,52
Площ km²/y	0,31	3,06	30,61
Еквивалентни модули Mark III	0,30[1]	3,03	30,30
Нагряван материал млн. t/y	0,67	6,70	66,97
Номинална топлинна мощност MW	3,73	37,27	372,73
Топлинна енергия GWh/y	14,69	146,93	1469,29
Електрическа мощност на миньорите MW	0,11	1,06	10,61
Капсули при 20 kg товар	1	5	50
Обща изстрелвана маса t/y	0,05	0,25	2,50
Минимална кинетична енергия MWh/y	0,04	0,20	2,00

Забележка: [1] Пилотният сценарий изисква поне един физически модул, който работи с непълно натоварване.

Резултатите показват линейно нарастване на добивната инфраструктура. За 1 t ^{3}He годишно са необходими около 151,5 млн. t реголит. Средният поток е приблизително 4800 kg/s през цялата земна година, а в рамките на 3942 активни часа достига близо 10 700 kg/s. Този мащаб изисква не единичен робот, а флот от взаимозаменяеми машини, паралелни линии и значителен запас от критични възли.

Същевременно 1 t готов продукт се побира номинално в 50 капсули по 20 kg. Дори при максимална входна мощност 20 MW и продължителност до един час за всяко изстрелване, брутната енергия би била под 1 GWh годишно преди отчитане на възстановяването. Това е под 0,1% от изчислената топлинна енергия за преработката. Следователно честотата и енергията на изстрелването не са водещото ограничение при разглежданите сценарии. Този извод не включва масата и сложността на капсулата.

5 Основни логистични проблеми

5.1 Несигурност на ресурса и избор на място

Концентрацията на ^{3}He зависи от слънчевия вятър, зрелостта на реголита, съдържанието на TiO_2 и историята на повърхността [3]. Затова изборът на участък само по глобална карта може да доведе до грешно оразмеряване на мината. Необходима е последователност от орбитално картографиране, наземни проби, изпитване на извличането и класификация на ресурса. До приключването ѝ стойностите за капацитет, площ и себестойност трябва да се разглеждат като сценарии, а не като прогноза.

5.2 Непрекъснат поток от реголит

Милионите тонове годишно създават типичен минен проблем при нетипична среда. Машините трябва да режат, повдигат, пресяват и подават абразивен прах във вакуум и при големи температурни амплитуди. Липсата на конвективно охлаждане, електростатичното полепване и невъзможността за бърза човешка намеса увеличават риска от запушване и износване. Производствената система трябва да бъде модулна, с излишък на капацитет и възможност един робот да обслужва друг.

5.3 Енергия и топлинна интеграция

При Mark III 157 kg/s фина фракция се нагрява от около 30 до 700 °C. Необходимата външна топлинна мощност е 12,3 MW при 85% възстановяване и 82 MW без възстановяване [1]. Това означава, че топлообменникът е ключов логистичен актив. Загуба на ефективност от замърсяване или механичен отказ увеличава многократно размера на енергийната

система. Слънчевата топлина ограничава работата до осветени периоди, освен ако не се добавят съхранение или ядрен източник.

5.4 Разделяне, съхранение и опаковане

Масата на чистия ^{3}He е малка, но физическата форма на товара е критична. При 20 MPa и 300 K идеалният газ има плътност около 24,2 kg/m^3. За 20 kg са нужни приблизително 0,83 m^3. Илюстративна сферична обвивка от титаниева сплав с плътност 4430 kg/m^3 и допустимо напрежение 800 MPa би имала теоретична маса около 137 kg само за поемане на вътрешното налягане. Оценката не включва коефициент на безопасност, щуцери, облицовка, топлозащита, системи за управление и натоварването при над 10 000 g. Следователно заявеният полезен товар 20 kg за универсална капсула не е доказан полезен товар от ^{3}He.

Криогенното втечняване намалява обема, но изисква температури около няколко kelvin, изолация и контрол на изпарението. Алтернативата е по-малко количество във всяка капсула, по-голяма капсула или междинно складиране и връщане с химически транспорт. Изборът трябва да се извърши чрез съвместна оптимизация на контейнера, рамото, топлозащитата и траекторията.

5.5 Вътрешнолунен транспорт и обратни потоци

Мината, преработвателната инсталация и изстрелващата площадка може да не се намират на едно място. Богатите на титаний морета са интересни за ^{3}He, докато полярните райони са предпочитани за вода и енергийна инфраструктура. Това създава вътрешнолунен транспорт на газови съдове, резервни части, инструменти и отпадъчни компоненти. Обратната логистика трябва да включва връщане на празни контейнери, ремонтируеми модули и регенериране на консумативи. Транспортирането на необработен реголит на големи разстояния е нецелесъобразно; обработката следва да бъде близо до добивния фронт.

5.6 Магнитно изстрелване и земно приемане

Магнитната система елиминира ракетното гориво за всеки товар, но въвежда нови единични точки на отказ. Към тях принадлежат голямото въртящо рамо, магнитните лагери, свръхпроводящият двигател, системата за балансиране след освобождаване и субмилисекундното управление на отделянето [4, 5]. Неточност във времето или ъгъла може да загуби капсулата или да изисква бордова корекция. На Земята е необходима безопасна зона или управляемо връщане, защото всяка капсула влиза в атмосферата с междупланетна скорост. Разходите за проследяване, застраховане и възстановяване трябва да бъдат включени в цената на доставения килограм.

Таблица 3. Критични логистични рискове и мерки за ограничаване

Риск	Въздействие върху логистиката	Необходима мярка
Грешка в концентрацията	Недостатъчен добив и излишен капацитет	Пробовземане и поетапно оразмеряване
Отказ на добивен модул	Спиране на материалния поток	Модулен флот и резервен капацитет
Ниско топлинно възстановяване	Рязък ръст на енергията	Дублирани топлообменници и контрол на замърсяването
Недостатъчно изотопно разделяне	Натрупване на междинен продукт	Буферни съдове и паралелни каскади
Тежък съд за ^{3}He	Намален полезен товар на капсулата	Оптимизация на налягане температура и контейнер
Отказ на пусковата система	Блокиране на изходящия поток	Склад за готов продукт и ремонтни модули
Неточно отделяне	Загубена капсула	Бордова корекция и независима навигация
Недоказан пазар	Невъзстановим капитал	Поетапно развитие и съпътстващи продукти

6 Чувствителност и дискусия

Таблица 4. Чувствителност на промишления сценарий при η = 66% и дълбочина 3 m

Концентрация	Реголит за 1 t ³He млн. t/y	Площ km²/y
5 ppb	303,03	61,22
10 ppb	151,52	30,61
20 ppb	75,76	15,30

Удвояването на концентрацията намалява наполовина материалния поток, площта, броя минни модули и приблизително топлинната мощност. Поради това ресурсното проучване има по-висока стойност от ранното оптимизиране на пусковата система. Същата зависимост важи за коефициента на извличане. Подобряването му от 66% на 85% би намалило потока с около 22%, без да променя концентрацията.

Публикуваните енергийни оценки имат различни системни граници. Концепцията Mark III дава около 1,47 GWh външна топлинна енергия на килограм ³He при 10 ppb, ако 12,3 MW се използват през 3942 часа за 33 kg продукт. Китайската системна концепция посочва 80 000 kWh/kg електроенергия [4]. Разликата от приблизително осемнадесет пъти показва, че енергийна или икономическа оценка без еднаква граница на процеса е ненадеждна. Необходимо е да се разделят слънчева топлина, електроенергия за механизми, компресия, изотопно разделяне, криогеника, транспорт и поддръжка.

За разглежданите сценарии магнитната катапулта има достатъчен номинален брой изстрелвания. Тя става ограничение само ако реалният товар от ³He на капсула е много по-малък от 20 kg, ако прозорците за траектория са редки или ако надеждността не позволява планираната честота. Най-големият непосредствен риск остава производството: добивът трябва да работи с мащаб на голяма земна мина, но без местна индустриална база и с дълга доставка на резервни части.

Икономическата оценка е допълнително ограничена от липсата на промишлен D–³He реактор и на пазар, способен да поглъща тонове годишно. Съвременните анализи препоръчват първо да се намалят геоложката, технологичната и пазарната неопределеност, а едва след това да се прилага пълен DCF модел [7]. Практичен път е пилотна инсталация, която добива по-големи количества вода, кислород и други летливи вещества, а ³He се събира като съпътстващ продукт. Така част от инфраструктурата се изпитва преди инвестиция в специализирана промишлена мина [1].

Екологичният аспект също е логистичен параметър. При 1 t/y базовият сценарий нарушава около 30,6 km² годишно, а преработеният реголит остава с променена гранулометрия и оптични свойства. Timpe отбелязва, че следите от мащабна добивна дейност могат да се запазят много дълго поради бавната естествена преработка на лунната повърхност [8]. Следователно маршрутите, зоните за насипване и защитата на научно ценни участъци трябва да бъдат част от проекта, а не последваща мярка.

7 Заключение

Сценарният анализ показва, че промишленият добив на 1 t ³He годишно изисква обработване на около 151,5 млн. t реголит при концентрация 10 ppb и общ добив 66%. Необходимата площ е около 30,6 km² годишно, а инсталираният капацитет е еквивалентен на приблизително 30 модула Mark III. Тези стойности поставят основния логистичен проблем в мината, топлинната обработка и поддръжката, а не в масата на готовия продукт.

Магнитната ротационна система може номинално да върне 1 t продукт с 50 капсули годишно, което е под публикувания ѝ капацитет. Този резултат обаче зависи от недоказаното предположение, че една 50-килограмова капсула може да носи 20 kg ³He.

Илюстративната оценка за съд при 20 MPa показва, че масата на контейнера сама по себе си може да надвиши допустимата маса на капсулата. Следващата необходима изследователска стъпка е интегриран модел на съхранението, контейнера, високото ускорение, топлозащитата и земното възстановяване.

Към настоящия момент лунна мина за ^{3}He не може да бъде обоснована само с енергийния потенциал на продукта. Необходими са измерени находищни данни, демонстрация на непрекъснат добив и разделяне, надеждна автономна поддръжка, доказан контейнер за високото ускорение и реален пазар. Магнитното изстрелване може да намали един транспортен разход, но не отстранява ограниченията на останалата производствена и логистична верига.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Olson, A. D. S. Lunar Helium-3: Mining Concepts, Extraction Research, and Potential ISRU Synergies. AIAA ASCEND 2021. DOI: 10.2514/6.2021-4237.

[2] Wittenberg, L. J., Santarius, J. F., Kulcinski, G. L. Lunar Source of ^{3}He for Commercial Fusion Power. Fusion Technology, 10, 1986, pp. 167–178. DOI: 10.13182/FST86-A24972.

[3] Fa, W., Jin, Y. Global Inventory of Helium-3 in Lunar Regoliths Estimated by a Multi-Channel Microwave Radiometer on the Chang'E 1 Lunar Satellite. Chinese Science Bulletin, 55, 2010, pp. 4005–4009. DOI: 10.1007/s11434-010-4198-9.

[4] Zhang, W., Chu, Y., Xia, G., Han, F. A Proposal for Cost-Effective and Large-Scale Batch Return of Lunar Resources. Journal of Space Science and Experiment, 1(3), 2024, pp. 36–43. DOI: 10.19963/j.cnki.2097-4302.2024.03.005.

[5] Zhang, W., Chu, Y., Xia, G., Han, F., Zhai, M. New Technology of Lunar-Based Magnetic Levitation Rotary Ejection Return System. Aerospace Shanghai, 41(2), 2024, pp. 87–94. DOI: 10.19328/j.cnki.2096-8655.2024.02.012.

[6] de Temmerman, G. The Helium Bubble: Prospects for ^{3}He-Fuelled Nuclear Fusion. Joule, 5(6), 2021. DOI: 10.1016/j.joule.2021.05.003.

[7] Smith-Vaniz, G., Stähler, S. C., Kehl, F. A Framework for the Economic Evaluation of Lunar Mining Projects. Space and Planetary Resources, 2, Article 3, 2026. DOI: 10.1007/s44461-026-00008-9.

[8] Timpe, M. Projected Environmental Impacts of Helium-3 Mining on the Lunar Surface. EGU General Assembly 2026, EGU26-18687. DOI: 10.5194/egusphere-egu26-18687.

[9] Crawford, I. A. Lunar Resources: A Review. Progress in Physical Geography, 39(2), 2015, pp. 137–167. DOI: 10.1177/0309133314567585.

[10] Kluge, P., Neale, A. M. A Mining Engineering Approach to Mining Lunar Regolith. 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2012. DOI: 10.2514/6.2012-358.

[11] Metzger, P. T., Muscatello, A., Mueller, R. P., Mantovani, J. Affordable, Rapid Bootstrapping of the Space Industry and Solar System Civilization. Journal of Aerospace Engineering, 26(1), 2013, pp. 18–29. DOI: 10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000236.

[12] Keszthelyi, L. P. et al. Assessment of Lunar Resource Exploration in 2022. U.S. Geological Survey Circular 1507, 2023. DOI: 10.3133/cir1507.

WASTE MANAGEMENT AND CIRCULAR ECONOMY: AN ENGINEERING-ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL APPROACHES AND SUSTAINABILITY*

SECHKIN H. MEHMED, YORDANKA I. YANKOVA-YORDANOVA

ABSTRACT: *This paper examines waste management as a central component of the transition towards a circular economy, with emphasis on the engineering and environmental dimensions of contemporary treatment, recycling and recovery technologies. The study is based on a critical literature review and a qualitative comparative analysis of scientific publications, regulatory documents and standards related to waste management, life-cycle assessment and digitalisation. Mechanical, thermal, biological and chemical approaches are considered, including mechanical-biological treatment, anaerobic digestion, pyrolysis, gasification, chemical recycling and plastic upcycling. A comparative engineering-environmental framework is proposed to organise the technological alternatives according to resource efficiency, material recovery potential, energy intensity, technological maturity and compatibility with circular-economy principles. The analysis indicates that no single technological option is optimal for all waste streams; technology selection should reflect waste characteristics, the quality of recovered secondary resources and verified life-cycle environmental performance. Industry 4.0 technologies create additional opportunities for traceability, automated sorting and system optimisation. The paper concludes that sustainable waste management requires integrated engineering, environmental, logistical and regulatory solutions.*

KEYWORDS: *circular economy, waste management, environmental engineering, recycling, recovery, life-cycle assessment, Industry 4.0*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26SHM

УПРАВЛЕНИЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ И КРЪГОВА ИКОНОМИКА: ИНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГИЧЕН АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПОДХОДИ И УСТОЙЧИВОСТТА

СЕЧКИН Х. МЕХМЕД, ЙОРДАНКА И. ЯНКОВА-ЙОРДАНОВА

АБСТРАКТ: *Настоящата публикация анализира управлението на отпадъците като ключов елемент на прехода към кръгова икономика, с акцент върху инженерно-екологичните аспекти на съвременните технологии за третиране, рециклиране и оползотворяване. Изследването е разработено като критичен обзор и качествен сравнителен анализ на научна литература, нормативни документи и стандарти в областта на управлението на отпадъците, оценката на жизнения цикъл и дигитализацията. Разгледани са механични, термични, биологични и химични подходи, включително механо-биологично третиране, анаеробно разграждане, пиролиза, газификация, химично рециклиране и надграждащо оползотворяване на пластмаси. Предложена е сравнителна инженерно-екологична рамка, която систематизира технологичните решения според ресурсна ефективност, потенциал за материално оползотворяване, енергийна интензивност, технологична зрялост и приложимост към принципите на кръговата икономика. Анализът показва, че не съществува универсално решение за всички отпадъчни потоци и че изборът на технология трябва да се основава на характеристиките на отпадъка, качеството на получаваните вторични ресурси и доказаното екологично представяне през жизнения цикъл. Дигиталните технологии на Индустрия 4.0 разширяват възможностите за проследимост, автоматизирано сортиране и оптимизация на системите. Изведена е необходимостта от интегриране на инженерни, екологични,*

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие MATTEX 2026 – ФТН“

логистични и регулаторни решения при проектирането на устойчиви системи за управление на отпадъците.

1 Въведение

Управлението на отпадъците се превръща от преимуществено санитарна и екологична дейност в комплексна инженерна система, свързана с ресурсната ефективност, енергийната политика, логистиката и дизайна на продуктите. Тази промяна е пряко свързана с развитието на концепцията за кръгова икономика, която поставя акцент върху предотвратяването на отпадъци, удължаването на жизнения цикъл на продуктите и връщането на материалите в икономическия оборот.

В европейската политика йерархията на отпадъците поставя на първо място предотвратяването, следвано от подготовка за повторна употреба, рециклиране, друго оползотворяване и, като най-нископриоритетна възможност, обезвреждане [1]. Тази последователност не следва да се възприема като механично правило, а като принцип за вземане на решения, който трябва да бъде съчетан с оценка на конкретния отпадъчен поток и неговото въздействие през жизнения цикъл. Схематично йерархията е представена на фиг. 1.



Фиг. 1. Йерархия на управлението на отпадъците *(авторска схема по [1])*

Съвременните инженерни решения включват автоматизирано сортиране, механично рециклиране, компостиране, анаеробно разграждане, пиролиза, газификация, технологии за химично рециклиране и различни форми на upcycling. Развитието на сензорни системи,

изкуствен интелект, Интернет на нещата и аналитични платформи допълнително променя начина, по който се събират, проследяват и третират отпадъчните потоци [2, 3].

Целта на настоящата публикация е да систематизира основните инженерни подходи за управление на отпадъците в контекста на кръговата икономика и да предложи сравнителна инженерно-екологична рамка за оценяване на тяхната приложимост. Акцентът е поставен върху връзката между технологичната ефективност, възстановяването на ресурси, екологичното въздействие и възможностите за цифрово подпомагане на системите.

2 Методология на изследването

Изследването е разработено като критичен обзор на научната литература и нормативно-стандартната рамка. Анализирани са публикации, посветени на съвременни технологии за третиране и оползотворяване на отпадъци, кръгова икономика, пластмасови отпадъци, ресурсно възстановяване, дигитализация и оценка на жизнения цикъл. Като първични нормативни и методологични източници са използвани Директива 2008/98/ЕО относно отпадъците и стандартите ISO 14040 и ISO 14044 за оценка на жизнения цикъл [1, 4, 5].

За сравнителния анализ технологиите са групирани в пет основни категории: механично третиране и рециклиране; биологично третиране; термохимично преобразуване; енергийно оползотворяване; химично рециклиране и надграждащо оползотворяване. Оценката е качествена и не замества конкретно LCA изследване. Критериите включват: (1) потенциал за запазване на материалната стойност; (2) ресурсна ефективност; (3) енергийна интензивност; (4) технологична зрялост; (5) чувствителност към качеството и състава на входящия поток; (6) съответствие с принципите на кръговата икономика.

Този подход позволява да се избегне директното ранжиране на технологии без отчитане на контекста. Една технология може да бъде ефективна за определен вид отпадък и неподходяща за друг. Поради това резултатите са представени като сравнителна аналитична рамка, а не като универсална йерархия на техническите решения.

3 Кръговата икономика като инженерна рамка за управление на отпадъците

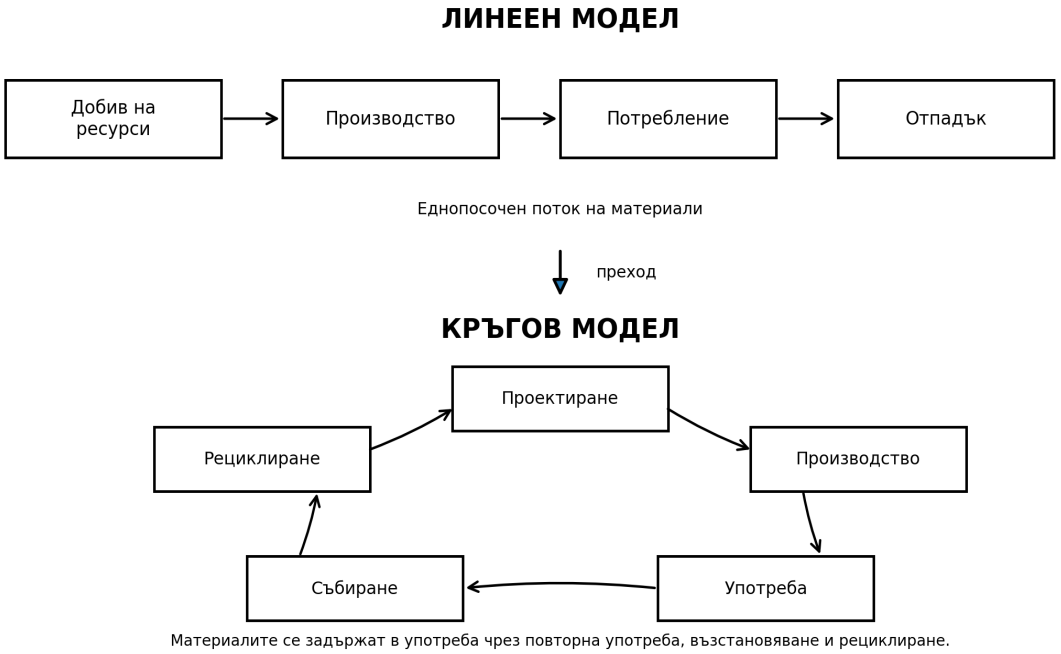
Линейният модел „добив – производство – потребление – изхвърляне“ предполага непрекъснато въвеждане на първични ресурси и натрупване на отпадъци. Кръговата икономика се стреми да ограничи тези загуби чрез повторна употреба, ремонт, реманифактуриране, рециклиране и възстановяване на ресурси. В инженерно отношение това означава промяна не само на крайните операции с отпадъците, но и на дизайна на продуктите, избора на материали, производствените процеси и обратната логистика [6, 7].

Ключово значение има качеството на вторичния ресурс. Формалното „рециклиране“ не е достатъчно, ако многократната обработка води до силно влошаване на материалните свойства или ако крайният продукт няма реален пазар. При пластмасите например механичното рециклиране остава широко приложимо, но при определени полимери и замърсени или смесени потоци се появяват ограничения, което стимулира развитието на химично рециклиране и upcycling [8].

Инженерната екология допълва кръговия подход чрез количествена оценка на въздействията и чрез оптимизиране на взаимодействието между технологичната система и околната среда. Разглеждането на ресурсното възстановяване като част от системното инженерство е съществено за прилагането на кръгови модели [9]. LCA е особено важен

инструмент, тъй като позволява да се оценят преносите на въздействие между етапите и да се избегнат решения, които намаляват един проблем, но увеличават друг [4, 5].

На фиг. 2 е представена концептуална схема на прехода от линеен към кръгов модел, при който материалите се задържат по-дълго в икономическия цикъл чрез повторна употреба, възстановяване и рециклиране.



Фиг. 2. Преход от линейна към кръгова икономика *(авторска схема по [6, 7])*

4 Инженерни технологии за третиране и оползотворяване

4.1 Механично третиране и сортиране

Механичното третиране включва раздробяване, пресяване, магнитна и вихровотокова сепарация, оптични системи и други физични методи за отделяне на фракции. То е основа за последващо материално оползотворяване, тъй като качеството на сортирането пряко влияе върху чистотата и пазарната стойност на вторичните суровини.

Развитието на автоматизирано разпознаване, машинно зрение и изкуствен интелект подобрява способността за разделяне на сложни потоци. Съвременните интелигентни системи позволяват по-добър контрол върху състава, по-ниско съдържание на примеси и оптимизация на работата на сортировъчните линии [2, 3].

4.2 Биологични методи

Компостирането и анаеробното разграждане са утвърдени подходи за биоразградими отпадъци. При компостирането органичната материя се стабилизира при аеробни условия, като се получава материал, който при спазване на изискванията за качество може да бъде използван като почвоподобрител. Анаеробното разграждане позволява едновременно стабилизиране на органичния поток и производство на биогаз, като оставащият дигестат изисква контрол на качеството преди употреба.

Предимството на биологичните технологии е възможността за връщане на хранителни вещества и органична материя в биологичния цикъл. Практическото им прилагане изисква контрол върху качеството на входящите органични потоци и върху наличието на нежелани примеси и замърсители [10].

4.3 Термични и термохимични процеси

Пиролизата представлява термично разграждане в отсъствие или при силно ограничено количество кислород. В зависимост от суровината и процесните условия могат да се получат газова, течна и твърда фракция. Газификацията протича при високи температури и контролирано количество окислител и води до образуване на синтезен газ. Тези технологии могат да имат роля при отпадъчни потоци, които трудно се рециклират механично, но техните екологични ползи зависят от енергийните вложения, качеството на продуктите, контрола на емисиите и реалното заместване на първични суровини или горива.

При отпадъци с висока пластмасова компонента термохимичните технологии се разглеждат и като средство за получаване на химични суровини. Научната литература подчертава потенциала им, но и необходимостта от внимателна оценка на икономическата устойчивост, енергийните баланси и технологичната мащабируемост [8, 11].

4.4 Химично рециклиране и upcycling

Химичното рециклиране цели разграждане на полимерите до мономери или други химични суровини, които могат да бъдат върнати в производството. Подходите включват деполимеризация, солволиза, каталитични процеси и хидрогенолиза. Те са особено интересни за материали, чието механично рециклиране е затруднено или води до значима загуба на свойства.

Upcycling подходите се стремят не просто да запазят, а да увеличат функционалната или икономическата стойност на получения материал. Примери са витримеризацията, нанокомпозитното модифициране и използването на рециклирани полимери в адитивното производство [8]. Тези технологии са перспективни, но част от тях все още са на различни нива на технологична зрялост и не следва автоматично да се приемат като по-устойчиви без доказателства от LCA.

4.5 Енергийно оползотворяване

Енергийното оползотворяване може да има роля за остатъчни отпадъци, които не могат да бъдат подготвени за повторна употреба или рециклирани с приемливо качество и въздействие. То не трябва да се поставя наравно с материалното рециклиране, тъй като при изгарянето материалната стойност в голяма степен се губи. В съответствие с йерархията на отпадъците енергийното оползотворяване е по-ниско приоритетно от рециклирането [1].

Екологичната оценка на такива системи трябва да отчита състава на отпадъка, енергийната ефективност, заместваната енергия, емисиите и управлението на пепели и други остатъци. Поради това общи твърдения за „чиста“ или „възобновяема“ енергия от отпадъци са научно неточни без уточняване на конкретния поток и неговия биогенен дял.

5 Сравнителна инженерно-екологична оценка

На основата на разгледаната литература [2, 3, 8, 10–14] е предложена качествена сравнителна рамка. Тя има аналитичен характер и не представлява заместител на технологично проектиране, икономически анализ или LCA за конкретна инсталация. Систематизираните резултати са представени в табл. 1.

Сравнението показва, че най-висок кръгов потенциал имат решенията, които запазват материалната стойност и позволяват многократно използване на ресурса. Това обаче е валидно само когато вторичният материал има достатъчно качество и реална възможност да замести първична суровина. При силно замърсени или многокомпонентни потоци комбинираните системи често са по-реалистични от една единствена технология.

От инженерна гледна точка оптималната система следва да бъде проектирана като последователност: предотвратяване и разделно събиране; висококачествено сортиране; материално оползотворяване на подходящите фракции; биологично третиране на чистите органични потоци; специализирани химични или термохимични процеси за трудно рециклируеми материали; остатъчно енергийно оползотворяване или обезвреждане само за неприложимите за по-високо ниво фракции.

Таблица 1. Качествена сравнителна рамка за инженерно-екологична оценка на технологични подходи

Технологичен подход	Материално оползотворяване	Енергийна интензивност	Технологична зрялост	Чувствителност към входа	Кръгов потенциал	Основно ограничение
Механично рециклиране	Високо при чисти фракции	Ниска–средна	Висока	Висока	Висок	Деградация на качеството и замърсяване
Биологично третиране	Високо за органични потоци	Ниска–средна	Висока	Висока	Висок	Необходима е чиста биоразградима фракция
Пиролиза / газификация	Средно; зависи от продукта	Висока	Средна–висока	Средна	Среден	Енергийни баланси, качество на продуктите, емисии
Енергийно оползотворяване	Ниско	Средна	Висока	Средна	Ограничен	Загуба на материална стойност; остатъчни продукти
Химично рециклиране / upcycling	Потенциално високо	Средна–висока	Различна според процеса	Средна–висока	Потенциално висок	Цена, мащабируемост, нужда от доказано LCA предимство

6 Оценка на жизнения цикъл като основа за технологичен избор

ISO 14040 и ISO 14044 определят принципите, рамката, изискванията и насоките за оценка на жизнения цикъл. Основните фази включват определяне на целта и обхвата, инвентаризационен анализ, оценка на въздействията и интерпретация [4, 5]. За управлението на отпадъците това позволява сравнение между различни сценарии при ясно дефинирана функционална единица и системни граници.

LCA е особено необходим при сравнение на технологии, при които част от въздействията се преместват между етапите. Например по-сложен процес може да консумира повече енергия, но да произведе вторичен материал, който замества ресурсоемко първично производство. Обратно, решение с ниски директни емисии може да доведе до по-нискокачествен материал и последваща загуба на ресурсна стойност. Следователно инженерната оценка трябва да бъде системна, а не ограничена до една операция.

7 Дигитализация и Индустрия 4.0 в управлението на отпадъците

Дигитализацията променя управлението на отпадъците по три основни направления: проследимост на материалните потоци, автоматизация на обработката и оптимизация на логистиката. IoT сензори могат да предоставят данни за запълване на контейнери, състояние на оборудването и количествени характеристики на потоците; аналитичните платформи могат да подпомагат маршрутизацията и планирането; машинното зрение и изкуственият интелект намират приложение в автоматизираното сортиране [2, 3].

Интеграцията между кръгова икономика и Индустрия 4.0 създава възможности за по-точни материални баланси и за по-добро свързване между генериращи отпадъци предприятия и потенциални потребители на вторични ресурси. Въпреки това цифровата технология не компенсира лошо проектирана материална система. Данните имат стойност само когато се използват за реално намаляване на ресурсните загуби, повишаване на качеството на рециклирането и по-добър контрол на въздействията.

8 Дискусия

Резултатите от обзора потвърждават необходимостта управлението на отпадъците да се разглежда като интегрирана инженерна система. Подходът, при който всяка технология се оценява самостоятелно, може да доведе до неправилни заключения. Реалните системи включват събиране, транспорт, предварително третиране, сепарация, основен технологичен процес, управление на остатъчни продукти и пазарна реализация на получените материали или енергия.

Съществено значение има и взаимодействието между техническите и икономическите фактори. Вторичният ресурс трябва да има предвидимо качество, проследимост и пазар, в противен случай технически възможното рециклиране може да остане формално [13–15]. От тази гледна точка екодизайнът, разширената отговорност на производителя и системите за събиране и връщане на продукти и материали са важна част от инфраструктурата на кръговата икономика [1, 7].

Предложената сравнителна рамка показва и ограничението на универсалните оценки. Механичното рециклиране има висока кръгова стойност при чисти и добре сортирани термопластични потоци, но е значително по-слабо приложимо при сложни композити. Анаеробното разграждане е подходящо за биоразградими потоци, но не решава проблема със смесени отпадъци. Термохимичните и химичните процеси могат да разширят обхвата на оползотворяване, но тяхното предимство трябва да се доказва чрез конкретни енергийни, икономически и LCA показатели.

Практическият извод е, че кръговата икономика не трябва да се свежда до максимизиране на процента „третирани“ или „оползотворени“ отпадъци. По-съществени са запазването на функционалната стойност на материалите, реалното заместване на първични ресурси и минимизирането на общото въздействие през жизнения цикъл.

9 Заключение

Преходът към кръгова икономика изисква промяна в начина, по който се проектират и управляват системите за отпадъци. Инженерният подход трябва да започва с предотвратяването и качественото разделяне на потоците и да продължава с избор на технология, която запазва максимално материалната стойност при приемливо екологично и икономическо представяне.

Направеният обзор показва, че механичните, биологичните, химичните и термохимичните технологии имат различна приложимост и не могат да бъдат оценявани извън контекста на конкретния отпадъчен поток. Предложената сравнителна рамка систематизира основните фактори за инженерно-екологичен избор и подчертава необходимостта от съчетаване на ресурсна ефективност, технологична зрялост, качество на вторичния ресурс и LCA резултати.

Дигиталните технологии на Индустрия 4.0 имат потенциал да подобрят проследимостта, автоматизацията и логистичната ефективност, но техният принос към кръговата икономика зависи от интегрирането им в добре проектирани материални и технологични системи. Бъдещите изследвания следва да се насочат към количествено сравнение на конкретни технологични сценарии, включително чрез LCA, технико-икономически анализ и оценка на качеството на възстановените ресурси.

Основният научно-приложен принос на настоящото изследване е систематизирането на технологичните решения в единна инженерно-екологична рамка, която може да подпомогне предварителния избор и сравнението на подходи при проектиране на системи за устойчиво управление на отпадъците.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] European Parliament and Council. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Consolidated text, current version 16 October 2025, including Directive (EU) 2025/1892.

[2] Czekała W., Drozdowski J., Łabiak P. Modern Technologies for Waste Management: A Review. Applied Sciences, 13(15), 2023, 8847. https://doi.org/10.3390/app13158847

[3] Afshari H., Gurtu A., Jaber M. Y. Unlocking the potential of solid waste management with circular economy and Industry 4.0. Computers & Industrial Engineering, 195, 2024, 110457. https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110457

[4] International Organization for Standardization. ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO, Geneva, 2006; Amendment 1:2020.

[5] International Organization for Standardization. ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO, Geneva, 2006; Amendment 1:2017; Amendment 2:2020.

[6] Cano Londoño N. A., Cabezas H. Perspectives on circular economy in the context of chemical engineering and sustainable development. Current Opinion in Chemical Engineering, 34, 2021, 100738. https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100738

[7] European Commission. A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final, Brussels, 2020.

[8] Balu R., Dutta N. K., Roy Choudhury N. Plastic Waste Upcycling: A Sustainable Solution for Waste Management, Product Development, and Circular Economy. Polymers, 14(22), 2022, 4788. https://doi.org/10.3390/polym14224788

[9] Weissbrodt D. G., Winkler M. K. H., Wells G. F. Responsible science, engineering and education for water resource recovery and circularity. Environmental Science: Water Research & Technology, 6(8), 2020, pp. 1952–1966. https://doi.org/10.1039/D0EW00402B

[10] Taherzadeh M. J., Bolton K., Wong J. W. C., Pandey A. (eds.). Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches. Elsevier, 2019. https://doi.org/10.1016/C2017-0-04415-4

[11] Bint-e-Zahra, Qadri A. Waste valorization technologies and management: A review of traditional and advanced techniques. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 26(20), 2024, pp. 241–259. https://doi.org/10.62877/31-IJCBS-24-26-20-31

[12] Mandpe A., Paliya S., Gedam V. V., Patel S., Tyagi L., Kumar S. Circular economy approach for sustainable solid waste management: A developing economy perspective. Waste Management & Research, 41(3), 2023, pp. 499–511. https://doi.org/10.1177/0734242X221126718

[13] Yu Z., Khan S. A. R., Ponce P., Zia-ul-haq H. M., Ponce K. Exploring essential factors to improve waste-to-resource recovery: A roadmap towards sustainability. Journal of Cleaner Production, 350, 2022, 131305. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131305

[14] Sarkady A., Egedy A., Kurdi R., Tóth E. Towards a Circular Economy – Changing Needs and Solutions for Waste Management Systems. Hungarian Journal of Industry and Chemistry, 52(1), 2024, pp. 45–53. https://doi.org/10.33927/hjic-2024-07

[15] Angelis-Dimakis A., et al. Waste Management and the Circular Economy in Cyprus–The Case of the SWAN Project. Environments, 9(2), 2022, 16. https://doi.org/10.3390/environments9020016

MODEL FOR INFORMATION SERVICES AND SECURITY, ELECTRONIC DOCUMENT FLOW, AND ARCHIVING IN ADMINISTRATIVE PRACTICE*

PETAR I. PETROV

ABSTRACT: *The present paper describes a generalized model of information flow in modern administrative and computer practice. The model encompasses three main interconnected levels: communication network security via Port Knocking and encryption, document workflow automation through Archimed eProcess Desktop 2023, and technological organization of the Social Security Archive at NSSI under Art. 5, Para. 10 of the Social Security Code.*

KEYWORDS: *port knocking, generalized net, network, Archimed eProcess Desktop, Social Security Archive, NSSI, payrolls, UP-17, SSEC*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26PIP

МОДЕЛ ЗА ИНФОРМАЦИОННИ ОБСЛУЖВАНЕ И СИГУРНОСТ, ЕЛЕКТРОНЕН ДОКУМЕНТООБОРОТ И АРХИВИРАНЕ В АДМИНИСТРАТИВНАТА ПРАКТИКА

ПЕТЪР И. ПЕТРОВ

АБСТРАКТ: *Настоящият доклад представя изследван модел на движението на информационните потоци в съвременната административна и компютърна практика. Моделът обхваща три основни взаимосвързани нива: защита на комуникационната мрежа, чрез метода Port Knocking и криптиране, автоматизация на документооборота и оперативното насочване на задачи, чрез системата Archimed eProcess Desktop 2023 и технологична организация на Осигурителния архив към НОИ съгласно чл. 5, ал. 10 от КСО за дигитализация и издаване на удостоверителни документи.*

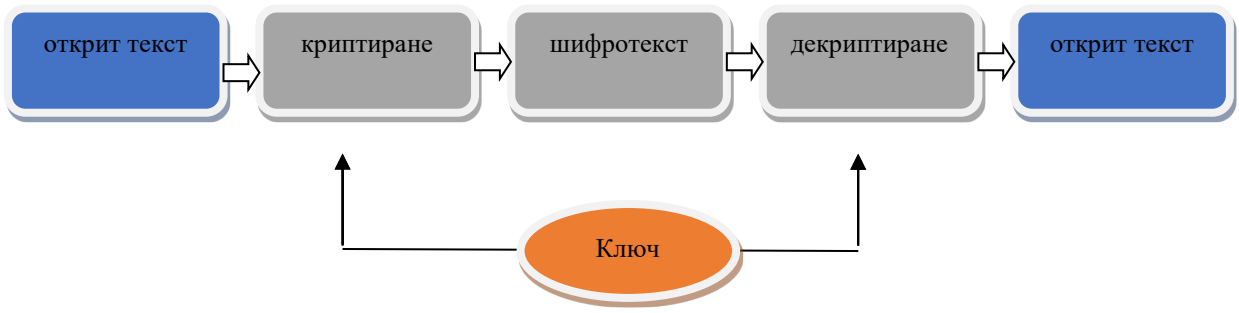
1 Въведение и сигурност на комуникационната мрежа

Защитата на информацията е ключов компонент при изграждането на съвременни информационни системи. Методът Port Knocking осигурява динамичен контрол на достъпа до мрежовите устройства и рутери, като ги поддържа защитени от неоторизирани опити за свързване [3]. Достъпът се предоставя само след изпълнение на предварително дефинирана последователност от опити за свързване към определени портове, след което операционната система добавя IP адреса на клиента в списъка с разрешени адреси.

В допълнение, използването на математически методи за криптиране гарантира конфиденциалност, цялостност, идентификация и автентификация на предаваните данни.

Правилата на защитната стена се прилагат последователно през секциите: правила, NAT, Mangle, Raw, сервизни портове, връзки, списъци с адреси и Layer 7 протоколи. Всички проверки следят MAC адреси, IP адреси и типа комуникация (unicast, broadcast, multicast).

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“



Фиг. 1. Операция по криптиране и декриптиране на съобщения

Таблица 1. Влияние на криптирането върху сигурността на данните

Показател	без криптиране	с криптиране
Вероятност за успешен неоторизиран достъп (%)	85	10
Риск от изтичане на чувствителни данни (%)	80	15
Ниво на защита на личните данни (%)	20	95
Доверие на потребителите (%)	45	90

2 Управление на документооборота в Archimed eprocess Desktop 2023

След осигуряване на сигурна мрежова среда, оперативната работа в организациите се осъществява, чрез системи за управление на документи. В Archimed eProcess Desktop 2023 са въведени обновени модули за регистрация, насочване и контрол [2].

2.1. Работа с документи-чернови (Draft)

Документите-чернови се създават от всеки служител, но са видими единствено за автора си. Те получават временен индекс Draft-№.

Деловодителите и регистраторите трябва да потвърждават прозореца за регистрация с бутона „Да“, а не да запазват документа като чернова.

За съвместна работа документи се създават като работни.

Всички чернови се управляват от режим „Документи чернови“ и се публикуват с бутон „Публикувай“.

2.2. Насочване на документи и изпълнение на задачи

Таб „Насочвания“ заменя таб „Задачи“, а таб „История“ заменя таб „Движение“. При поставяне на насочване задължително се задава „Очакван отговор“:

Разглеждане: за запознаване със съдържанието; отчита се автоматично след посещение на документа.

Текст / Становище / Съгласуване / Подпис: изисква активно действие или изготвяне на отговор от служителя/ръководителя.

Управлението се извършва през режим „Моите насочвания“ чрез опциите „Изпълни“, „Свързано насочване“ (подзадача) и „Препоставяне“. Служителите с административни права разполагат и с функция „Отмяна“ за служебно затваряне на приключени преписки.

3 Организация и функциониране на осигурителния архив към НОИ

При приключване дейността на осигурители без правоприемник, документите преминават към Осигурителния архив на Националния осигурителен институт (НОИ) съгласно чл. 5, ал. 10 от КСО [1]. НОИ предоставя електронна справка за прекратени осигурители с предадени ведомости [4].

3.1. Приемане и предварителна обработка на ведомости

Осигурителите са длъжни за своя сметка да обработят и предадат ведомостите за заплати и трудовоправните документи [1]:

Техническа обработка: Хронологична подредба, номериране в горния десен ъгъл, оформяне на заглавна страница с ЕИК/БУЛСТАТ, заверителен надпис, съставяне на опис и почистване от метални крепители.

Електронен прием: Разрешен е прием в електронен вид, подписан с КЕП съгласно Инструкция № 5 от 30.06.2005 г. [1].

3.2. Дигитализация в Центровете за електронна обработка (ЦЕО)

Хартиената разплащателна документация за периода 01.01.1980 г. – 31.12.1996 г. се предава в архивни кутии към ЦЕО за сканиране, индексиране и трайно съхранение.

Таблица 2. Регионални архивни центрове (РАЦ) и обслужвани териториални поделения

Регионален архивен център	Съхранява документи на ТП на НОИ:
Пловдив	**Пловдив, Пазарджик, Смолян**
Невестино	**София град, София област, Кюстендил, Перник, Благоевград**
Търговище	**Варна, Търговище, Разград**
Тетевен	**Ловеч, Велико Търново, Габрово, Плевен**
Силистра	**Силистра, Добрич**
Враца	**Враца, Видин, Монтана**
Минерални бани	**Хасково, Кърджали, Сливен, Ямбол, Бургас**

3.3. Административно обслужване на граждани и фирми

Издаване на удостоверения за стаж и доход (Обр. УП-13, УП-14, УП-15, УП-17): Заявленията се подават лично, по поща или електронно с КЕП/ПИК през Системата за сигурно електронно връчване (ССЕВ) или портала на НОИ [5]. Удостоверенията се издават безплатно в 30-дневен срок.

Удостоверение за заличаване на осигурител (чл. 5, ал. 10 от КСО): Издава се след финансова ревизия и предаване на ведомостите [1]. При бързо ликвидационно производство (чл. 274а от ТЗ) процедурата се задвижва служебно през ССЕВ.

Представеният модел показва взаимната свързаност между сигурността на мрежата (Port Knocking), ефективното управление на оперативния документооборот (Archimed eProcess Desktop) и трайното съхранение и дигитализация на архивите в държавната администрация (НОИ) [1–3].

4 Заключение

Представеният модел разглежда информационното обслужване в административната практика като свързан процес, който обхваща защитата на мрежовия достъп, управлението на електронния документооборот и дългосрочното съхранение на документите. Съчетаването на контрол на достъпа чрез Port Knocking и криптографски механизми със средствата за регистрация, насочване и проследяване на документи в Archimed eProcess Desktop създава предпоставки за по-сигурна и организирана работа с информацията. Организацията на Осигурителния архив към НОИ допълва този процес чрез приемане, обработка и дигитализация на документи, необходими за удостоверяване на осигурителни права.

Основният принос на доклада е обединяването на тези три направления в обща концептуална рамка, която свързва техническата защита с административните процедури и архивната дейност. Ефективността на подобен подход зависи както от използваните технологии, така и от ясното разпределение на отговорностите, подготовката на служителите и спазването на установените правила за обработка на информацията. Управлението на административната сигурност в община е разгледано в [6], а защитата на административните процеси от външни и вътрешни заплахи в [7].

Бъдещото развитие на модела може да бъде насочено към по-тясна интеграция между системите за документооборот и електронните архиви, автоматизирано проследяване на сроковете и действията и оценка на резултатите чрез измерими показатели за сигурност, време за обработка и качество на обслужването. При табличната обработка и анализа на отчетни показатели е относимо използването на динамични масиви в MS Excel [8]. Практическото му прилагане и проверка биха позволили да се оцени неговият потенциал за повишаване на надеждността и прозрачността на административната дейност.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Инструкция № 5 от 30.06.2005 г. за приемане и съхраняване на ведомости за заплати и трудовоправни документи на прекратени осигурители без правоприемник, Обн. ДВ. бр. 77 от 2026 г.

[2] Ръководство за Archimed eProcess Desktop 2023 относно нови функции. Сирма Интернейшънъл АД, 2023.

[3] Andreev K., Vardeva I. Generalized net model of implementation of port knocking on RouterOS. In: Uncertainty and Imprecision in Decision Making and Decision Support New Advances, Challenges, and Perspectives. Springer, 2022.

[4] Официален сайт на Националния осигурителен институт (НОИ) – Електронен портал за услуги и справка за прекратени осигурители: https://reps.nssi.bg/ARCHRegisteredEmployers/ [последно посетен: 2026]

[5] Портал за формуляри и образци за осигурителен архив на НОИ: https://www.nssi.bg [последно посетен: 2026]

[6] Simeonova I., Metodieva Ts. Model for administrative security management in a municipality. Journal Scientific and Applied Research, Konstantin Preslavsky University Press, Vol. 26, Shumen, 2024, ISSN 1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online), pp. 93–105. https://doi.org/10.46687/jsar.v26i1.397

[7] Тахиров М., Симеонова И. Защита на административните процеси от външни и вътрешни заплахи. Научна конференция на НВУ „Васил Левски“, Велико Търново, 12–14 ноември 2025.

[8] Todorova-Lazarova, V. P. Dynamic Arrays in MS Excel for Data Processing and Analysis in Information Systems. International Scientific Conference UNITECH 2025, Gabrovo, 2025, pp. 1–6, ISSN 1313-230X.

APPLICATION OF THE APPROXIMATION IN EXTENDING THE TECHNICAL SERVICE LIFE*

ANDREY I. BOGDANOV, ILIYA V. STOYCHEV

ABSTRACT: *The report presents a method for extending the service life of gyroscopic measuring instruments based on the linear vibration level. For this purpose, a linear approximation and least-squares fitting are used. The results are presented graphically.*

KEYWORDS: *linear vibration, linear approximation, gyroscopic measuring instruments*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26AIB

ПРИЛОЖЕНИЕ НА АПРОКСИМАЦИЯТА ПРИ УДЪЛЖАВАНЕ СРОКА ЗА ТЕХНИЧЕСКА ГОДНОСТ

АНДРЕЙ И. БОГДАНОВ, ИЛИЯ В. СТОЙЧЕВ

АБСТРАКТ: *В доклада е представен метод за удължаване срока на техническа годност на жироскопични измервателни средства по линейното ниво на вибрациите. За целта се използва линейна апроксимация и изравняване по метода на най-малките квадрати. Получените резултати са представени в графичен вид.*

1 Въведение

Задачата за удължаване срока за техническа годност е отговорна и трудна, защото в много случаи касае живота не само на обслужващия персонал, а при по сложни изделия, като летателни апарати, може да засегне живота и на мирни граждани.

При удължаване срока за техническа годност на техническите изделия трябва да се подхожда индивидуално, при отчитане индивидуалните особености на всяко изделие.

Най-важната подготвителна работа, която трябва да се извърши е да се изберат характеристиките, които ще бъдат изследвани и да се изберат граничните условия, до които е допустимо експлоатацията на изделията.

При избора на величини за изследване, те трябва така да бъдат подбирани, че да характеризират основното предназначение на техническият обект или такива величини, които отчитат тяхното техническо състояние. При избора им трябва да се изхожда от устройството и предназначението на съответния технически обект. Друго важно условие при избора на техническите характеристики е, да бъдат така подбрани, че да могат да бъдат лесно измерими или оценими.

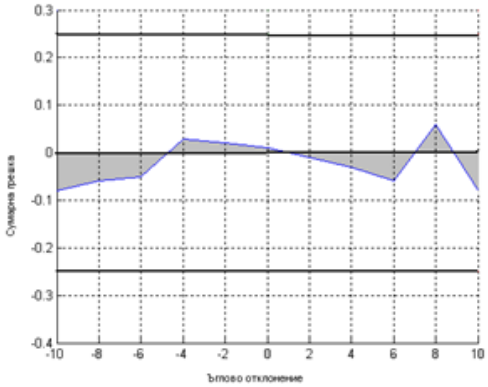
При избора на граничните условия до които се допуска експлоатацията на изделията се изхожда от техните технически задания, указанията на инструкциите за експлоатация, инструкциите за категоризация и други правилници или инструкции, касаещи експлоатацията на изделията. При липса на конкретни гранични стойности за отделни характеристики, могат да се използват стойностите на международно приетите стандарти, от серията ISO, DIN, VDI, BS, CDA и други.

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

Едно от изделията, за които най-често се налага удължаване срока за техническа годност, това са жироскопите. Те могат да комплектоват системите за управление на пилотни и безпилотни летателни апарати други. Обикновено се използват тристепенни, астатични жироскопи, служещи да измерват ъгловото разсъгласуване на управлявания обект [2].

2 Основна част

За да се получи информация за състоянието, но жироскопичните из-мервателни средства се измерва изходният сигнал изработван от уреда при стъпка за задаване на ъглови отклонения от 2 градуса. При построяване на статичната характеристика се получа-ва информация за състоянието на уреда в целия му работен диапазон. Отклоненията на реалната статична характеристика спрямо номиналната характеризират грешката на уреда.



Фиг. 1. Статична характеристика на жировертикант.

За да се вземе решение за удължаване техният срок на експлоатация се използва вибрационния спектър генериран при работа на уредите.

Приема се условието, че екс-плоатацията на жироскопичните измервателни средства се извършва в интервала от време . В процеса на работа на уредите чувствителния елемент е подложен на най – големи знакопроменливи натоварвания, предизвикващи нарастване на грешките на измерване и преобразуване. Това налага грешката от контрола да се разглежда като резултат от външни и вътрешни флуктоации сумирани с грешката от измервателната процедура. За грешката е известно, че нейната стойност не превишава определена допустима стойност. При нейното определяне се използва неравенството:

$$|\varepsilon(t)| \leq \delta(t) \quad , \qquad t \in [t_0, t_p] \tag{1}$$

Контрола се извършва интервала $[t_0 t_p]$, а получения резултат е в отрязъка от реализацията *z(t)* определена от израза:

$$z(t) =\leq y(t) + \varepsilon(t) \quad t \in [t_0, t_p] \tag{2}$$

На основата на съотношения (1) и (2) се получава:

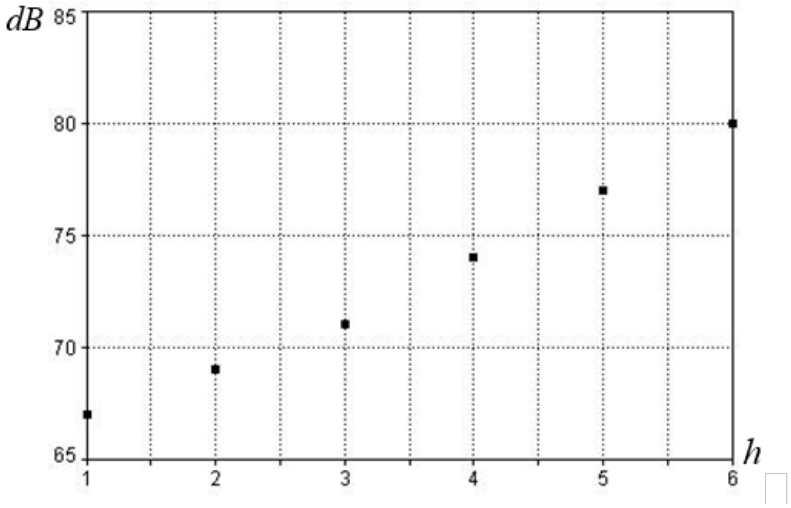
$$z(t) - \delta(t) \leq y(t) \leq z(t) + \delta(t), \tag{3}$$

Следователно в интервала $[t_0 t_p]$ реализацията на линейното ниво на вибрациите $Y(t)$ се заключва в определена “зона”. Тя е ограничена минимално от функциите$f(t) = z(t) - \delta(t)$, а максимума се фиксира от $g(t) = z(t) + \delta(t)$. В границите на тази “зона”

образувана от функциите $f(t)$ и $g(t)$ се построяват множество от криви от вида $\sum_{i=0}^{m} \alpha_i \phi(t)_i$ които се наричат допустими.

За прогнозиране поведението на процеса на стареене и износване на жироскопите при $t > t_p$ се избират от множеството криви "най – добрите", т. е. такива които при $t > t_p$ минават над или под всички останали. Доказателство за съществуването и единствеността на такива "най – добри" реализации е теоремата на Карлин [2, 7]. Съгласно графичната интерпретация на теоремата на Карлин реализациите могат да се представят в две зони – зона на възможните състояния и зона на увеличените грешки [4, 8]. Всяко жироскопично измервателно средство има своя характеристична крива на износване и стареене. Във връзка с това процеса на стареене се избира сред случайните процеси, които имат определена функционална зависимост от времето, но техния стабилен характер се определя от случайни параметри не зависещи от времето [3]. Съгласно [1] най-разпространените форми на необратимия процес на стареене и износване имат вида $y_i(t) = \sum_{j=0}^{m} \alpha_{ij} \phi_j(t)$ когато функциите $\{\phi_i(t)\}_{j=0}^{m}$ са степенни, експоненциални или логаритмични функции на времето [2].

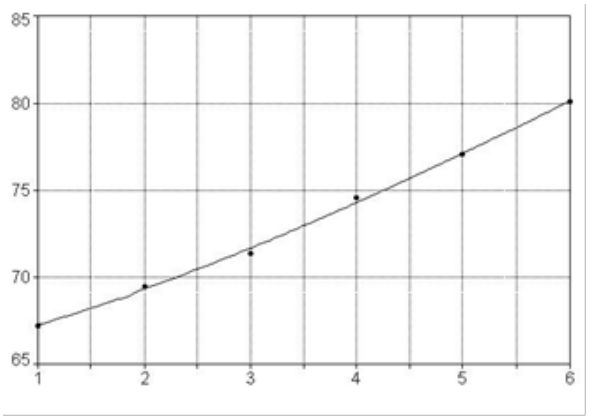
За определянето на тези възможни реализации от които да се състави графичната интерпретация на стареенето и износването се измерва линейното ниво на вибрациите за извадка от жироскопични измервателни средства от един и същ тип и експлоатирани при едни и същи условия. Измерените стойности може да се апроксимират, като за изследваните измервателни средства апроксимация на процесите на стареене и износване се представят чрез степенни, експоненциални или логаритмични функции на времето [1,4,6]. Измерените виброскорости за едно от измервателните средства има вида показан на фиг.2.



Фиг. 2. Нива на вибрациите измервани през един час.

Апроксимирането на тези резултати показва тенденцията на изменение параметрите на стареене и износване, а от там и увеличаване на вибрациите. Апроксимирането извършено с помощта на продукта "Table curve". има вида показан на фиг. (3). Уравнението на получената крива има вида:

$$y = a + bt^c \tag{4}$$



Фиг. 3. Апроксимация на резултатите от измерванията.

За оценката на коефициентите по метода на най – малките квадрати се получава:
$a = 65.86028; b = 1.3665119;\ c = 1.3081007.$

Получените апроксимационни уравнения за останалите измервателни средства имат вида:

$$y^2 = a + bt; \tag{5}$$

където: $a = 4966.8062;\ b = 494.02776.$

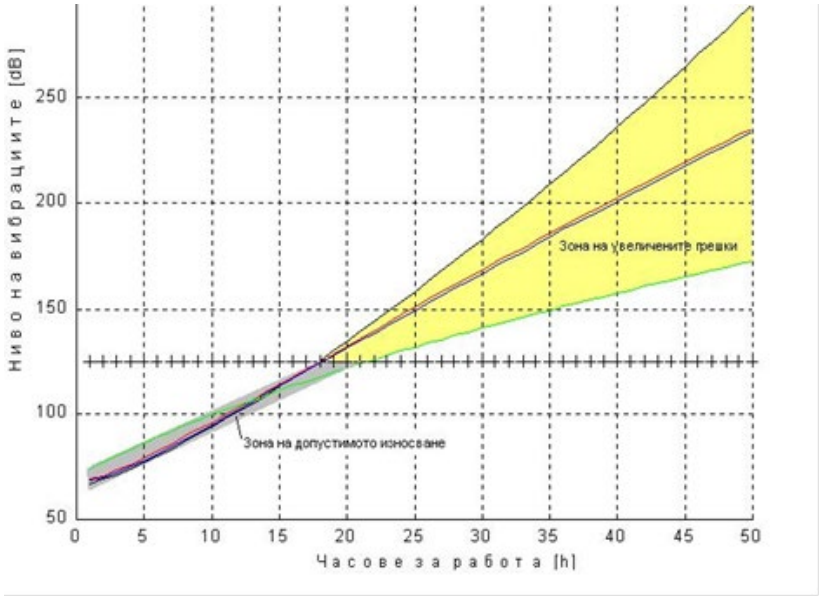
$$y^2 = a + bt^{1,5} \tag{6}$$

където: $a = 4480.977;\ b = 141.99349.$

$$y^2 = a + bt^{1,5} \tag{7}$$

където: $a = 4616.3184;\ b = 143.90372$

Решават се уравнения (4) до (7) при зададено изменение на $t = 1\ldots50$. Графичния вид на получените зависимости има вида показан на фиг. 4.



Фиг. 4. Графичен вид на решенията на апроксимационните уравнения.

Съгласно ISO 2372/74 границата между нивата “удовлетворил” и “допустимо” е . Тази стойност определя двете зони на фиг. 4 – “зона на допустимото износване” и “зона на увеличените грешки”. Срока за техническа годност на изследваните жироскопични измервателни средства се удължава, ако нивото на измерените вибрации е в зоната на допустимото износване.

3 Заключение

Направените изследвания показват, че приложението на апроксимацията и изравняването по метода на най-малките квадрати, дава надежден метод за удължаване срока за техническа годност на сложни технически обекти. Удължаването става на базата на обективни критерии, отчитайки индивидуалното техническо състояние на всеки конкретен обект.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Абрамов О.В., Розенбаум А. Н., Прогнозирование состояния технических систем, Наука, Москва, 1990.

[2] Силин В. Б., Заковряшин А. И., Автоматическое прогнозирование состояния аппаратуры управления и наблюдения, Энергия, Москва, 2023.

[3] Свешников А. А., Ривкин С. С., Вероятностные методы в прикладной теории гироскопов, Наука, Москва, 1974.

[4] Баранов И. А., Галкин В. Е., Родинов Е.М., Рузаев М.П., Исследование частот собственных колебании равножестких сколзящих токоподводов без контактного выступа приборов сб. Гироскопы производство и иследование, Машиностроение, стр.171-174, 2009.

[5] ISO 2372: 74, Systems for Faul Detection, Prediction and Analysis on Machinary and Critical Machine Parts

[6] Berry J. E., How to Track Roling Element Bearing Health with Vibratio Signsture Analisis. Sound and Vibration № 11 pp. 24 – 35, 2011

[7] Liaw D. S., Yen W. L., Chiz C. C., Nonlinear Control For Mussile Terminal Guidance, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control Vol. 122 Issue 4 December pp. 663 – 668, 2020

[8] Details about Pro – Engineer and Pro – Mechanica, WebPages From PTS: http: //www. ptc.com

METHODOLOGY 5S AND QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF ITS IMPLEMENTATION IN MANUFACTURING ENTERPRISES: A THEORETICAL-APPLIED APPROACH*

VESELINA R. KODZHEYKOVA, PETAR I. PETROV

ABSTRACT: *This paper examines the 5S methodology as a tool for organizing and standardizing the workplace and for monitoring effects on operational efficiency and safety in manufacturing enterprises. The objective is to systematize the main principles of 5S and to propose a methodological approach for quantitatively presenting the effects of its implementation through indicators of time, defects, used space, savings and return on investment. A theoretical-applied approach is used, based on a review of scientific literature and a hypothetical numerical example. The numerical values are hypothetical and do not represent empirical results from a specific enterprise. Literature-based indicators are distinguished from the integral indicator OIP (Overall Improvement Performance Index) applied in the study. The proposed approach can serve as a basis for subsequent empirical research in a real manufacturing or logistics environment.*

KEYWORDS: *5S, Lean manufacturing, production efficiency, visual control, standardization, performance indicators*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26VRK

МЕТОДОЛОГИЯТА 5S И КОЛИЧЕСТВЕНА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИТЕ ОТ НЕЙНОТО ПРИЛАГАНЕ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ: ТЕОРЕТИКО-ПРИЛОЖЕН ПОДХОД

ВЕСЕЛИНА Р. КОДЖЕЙКОВА, ПЕТЪР И. ПЕТРОВ

АБСТРАКТ: *В разработката методологията 5S се разглежда като инструмент за организация, стандартизация и поддържане на работната среда и за проследяване на ефектите върху оперативната ефективност и безопасността в производствени предприятия. Целта е да се систематизират основните принципи на 5S и да се предложи методологичен подход за количествено представяне на ефектите от нейното прилагане чрез показатели за време, дефекти, използвана площ, спестявания и възвръщаемост на инвестицията. Използван е теоретико-приложен подход, основан на преглед на научна литература и моделен числов пример. Числовите стойности са хипотетични и не представляват емпирични резултати от конкретно предприятие. Разграничени са литературно обоснованите показатели от прилагания в разработката интегрален показател OIP (Overall Improvement Performance Index). Предложеният подход може да бъде използван като основа за последващо емпирично изследване в реална производствена или логистична среда.*

1 Въведение

Методологията 5S представлява структуриран подход към организацията на работното място, основан на пет взаимосвързани практики – *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu и Shitsuke*. Тя се прилага за подреждане, стандартизиране и поддържане на работната среда и се разглежда като един от практическите инструменти в Lean производството [5, 8].

* Докладът е частично финансиран по проект РД-08-94/03.02.2026 г. „Експериментална и изследователска среда за моделиране, анализ и оптимизация на производствени процеси и технологии“

Литературните изследвания свързват прилагането на 5S с подобрения в организацията на труда, визуалния контрол, качеството, производителността и безопасността [2, 6, 7, 16].

В контекста на глобалната конкуренция предприятията се стремят към намаляване на загубите и повишаване на производителността чрез концепцията Lean [3, 5, 8]. В тази връзка 5S функционира като фундаментален елемент за по-ефективно използване на физическото пространство и регламентиране на трудовите процеси [2, 6, 7, 9].

2 Цел и метод на изследването.

Целта на разработката е да се систематизират основните принципи на методологията 5S и да се предложи методологичен подход за количествено представяне и проследяване на ефектите от нейното прилагане чрез измерими оперативни, качествени и финансови параметри.

Обект на изследването е методологията 5S като подход за организация и стандартизация на работната среда в производствени предприятия. За постигане на поставената цел са определени задачи, свързани със систематизиране на основните елементи на 5S, разграничаване на литературно обоснованите от авторските показатели, разработване на моделен числов пример и анализ на ограниченията при интерпретацията на получените резултати.

Методологичната основа включва анализ и синтез на научна литература, сравнителен преглед на показатели за оперативно и финансово представяне и числово моделиране чрез приети изчислителни параметри. При последващо емпирично изследване следва да бъдат планирани базови и последващи измервания, период на наблюдение и подходяща обработка и контрол на качеството на данните [5]. Поради липсата на първични данни от конкретно предприятие резултатите в числовия пример не се интерпретират като емпирично доказателство за ефекта от 5S.

3 Теоретични основи и показатели на методологията 5S.

Методологията 5S е свързана с Lean производствената система и подпомага идентифицирането и намаляването на загубите (MUDA), които не добавят стойност към продукта [2, 3, 5, 8]. Основните етапи са посочени в табл. 1, като всеки от тях допринася за създаване на устойчиви навици и култура на непрекъснато подобрение:

Таблица 1. Структура на методологията 5S. Източник: адаптирано по [12].

Стъпка	Японски	Англ. език	Произнасяне	Значение	Тълкуване
1	**整理**	**Seiri**	**Сейри**	*Сортиране*	„Разделяне на необходимото от излишното“
2	**整頓**	**Seiton**	**Сейтон**	*Подреждане*	„Систематизиране“
3	**清掃**	**Seiso**	**Сейсо**	*Почистване*	„Поддържане на чистота“
4	**清潔**	**Seiketsu**	**Сейкецу**	*Стандартизиране*	„Поддържане на реда и чистотата“
5	**躾**	**Shitsuke**	**Шицуке**	*Дисциплина*	„Самодисциплина и спазване на правилата на 5S“

Петте елемента на методологията са взаимосвързани и следва да се разглеждат като цикличен управленски процес, а не като еднократна кампания. Практическото им съдържание може да бъде представено по следния начин:

- **Seiri** (сортиране): отделяне на необходимите от ненужните предмети, материали, инструменти и информационни ресурси.
- **Seiton** (подреждане): определяне на място и начин за съхранение на необходимите ресурси така, че да бъдат лесно откриваеми и достъпни. Ресурсите и организацията на процесите в логистичното инженерство са разгледани в [19].
- **Seiso** (почистване): системно почистване и едновременно наблюдение на състоянието на работното място с цел ранно установяване на отклонения.
- **Seiketsu** (стандартизиране): разработване и поддържане на стандарти, визуални правила и процедури за изпълнение на първите три стъпки.
- **Shitsuke** (дисциплина): изграждане на устойчив навик за спазване на установените стандарти и за непрекъснато подобрение.



Фиг. 1. Петте елемента на методологията 5S. Източник: [12].

5S е структуриран подход, който при правилно внедряване създава и поддържа организирано, безопасно, чисто и ефективно работно място. Чрез визуален контрол несъответствията в процеса могат да бъдат установявани по-лесно. 5S често се прилага като част от Lean мисленето и подкрепя непрекъснатото подобрение [12].

В научната литература безопасността се разглежда и като самостоятелно направление при оценяване на резултатите от прилагането на 5S. Srinivasan et al. [8] изследват промяната в климата на безопасност, чрез сравнение преди и след прилагане на 5S и с контролна група, като установяват подобрение в общия показател за „safety climate“ и в ангажираността на ръководството.

Добрата подредба в работната зона може да съкрати времето за търсене и движение на операторите, а стандартизираната среда улеснява откриването на отклонения. По този

начин 5S подпомага както организацията на труда, така и устойчивото поддържане на установените стандарти [12].



Фиг. 2. Примерно състояние на работното място преди прилагане на 5S. Източник: [18].



Фиг. 3. Примерно състояние на работното място след прилагане на 5S. Източник: [18].

За количествената оценка на ефектите от 5S е необходимо наблюдаваните оперативни изменения да се представят, чрез предварително определени и измерими показатели [7–9, 15, 18].

За финансовата оценка в настоящия пример е използвана формула за възвръщаемост на инвестицията (ROI), при която нетният икономически резултат се съпоставя с първоначалната инвестиция [14].

Публикувани изследвания показват, че ефектите от 5S могат да се оценяват чрез съвкупност от оперативни и финансови показатели. Todorović и Čupić използват показатели за оперативно и финансово представяне, а Ghodrati и Zulkifli анализират представянето на индустриални организации след внедряване на 5S [9, 15]. В настоящата разработка тези

резултати се използват като методологична основа за моделната оценка. Анализът на логистичната ефективност като отделно приложно направление е разгледан в [20].

В публикуваните изследвания са разгледани ефектите от 5S чрез различни групи показатели, включително производителност, качество, време за изпълнение на операциите, организация на работното място и показатели, свързани с безопасността [7–9, 15]. Резултатите от тези изследвания показват, че изборът на показатели следва да се съобрази с конкретния производствен контекст и с възможността за надеждно измерване на промените. В настоящата разработка този подход се конкретизира чрез съвместно разглеждане на времето, дефектите, използваната площ и финансовия ефект, като за тяхното количествено представяне са използвани приети изчислителни параметри.

ROI показва съотношението между нетния икономически резултат от инвестицията и размера на инвестицията. В настоящия пример формулата е приложена към изчисления годишен икономически ефект [14].

Критерии на индикатора ROI (%):

- ROI > 0% означава положителна възвръщаемост спрямо вложената инвестиция.
- При ROI = 0% инвестицията покрива точно направените разходи.
- При ROI < 0% възвръщаемостта е по-ниска от направената инвестиция.

При заложени базови спестявания от 265 450 евро и първоначална инвестиция от 5 000 евро получената стойност на ROI е приблизително 5209% (детайлното изчисление е представено в раздел 4).

Таблица 2. Приети изчислителни параметри и относително изменение на показателите. Източник: авторски изчисления.

Показател	Преди 5S	След 5S	Подобрение (%)
Време за търсене на инструмент	7,5 мин	2,1 мин	72%
Площ за съхранение	120 m²	85 m²	29%
Брой дефекти	14	9	36%

$$R = \frac{\text{Performance преди} - \text{Performance след}}{\text{Performance преди}} \times 100\%, \text{ където} \quad (1)$$

R – относително намаление на показателя (%);

$Performance_{преди}$ – стойност на показателя преди прилагане на 5S;

$Performance_{след}$ – стойност на показателя след прилагане на 5S;

Формулата се прилага за показатели, при които намаляването на стойността представлява подобрение, каквито в настоящия пример са времето за търсене, използваната площ и броят дефекти.

$$\text{Време за търсене на инструмент} = \frac{7,5-2,1}{7,5} . 100 = 72\% \quad (2)$$

$$\text{Площ за съхранение} = \frac{120-85}{120} . 100 = 29\% \quad (3)$$

$$\text{Брой дефекти} = \frac{14-9}{14} . 100 = 36\% \quad (4)$$

4 Моделен пример за количествена оценка.

Внедряването на 5S позволява да се наблюдават особености, свързани с организационната култура, обучението на персонала и степента на стандартизация. В условията на дигитализацията използването на цифрови средства за управление и проследяване предоставя възможност да се допълни визуалния контрол [1, 3]. Подходящи практики са регулярното обучение, визуалните инструкции, включването на персонала в инициативи за непрекъснато подобрение и определянето на отговорници [2, 10, 13, 16, 17].

- Провеждане на регулярни обучения и визуални инструкции [10, 13, 14];
- Включване на персонала в Kaizen инициативи [13, 14];
- Създаване на постоянни 5S екипи и отговорници [2, 10, 13, 14];
- Използване на визуални средства за проследяване на показатели и стандарти [13];
- Интеграция на 5S със системи за управление като ISO 9001 и TPM [3].

Публикувани научни разработки показват, че ефектите от 5S е възможно да се проследят чрез оперативни и финансови критерии. Senthil Kumar и съавтори разглеждат внедряване на 5S в малко производствено предприятие, докато Todorović и Čupić анализират представянето на производствена среда [7, 9]. Тези резултати подкрепят избора на измерими показатели в настоящия моделен пример, но не доказват пряка причинно-следствена връзка за хипотетичните данни по-долу.

4.1. Входни параметри и изчислителен алгоритъм.

Входните параметри в табл. 2 са хипотетични и служат единствено за прилагане на изчислителната методика. Те не представляват измервания от конкретно предприятие.

Приети изчислителни параметри:

- Приет разход за труд:
  r = 10 €/час;
  N = 50 операции/ден;
  d = 250 дни/година;
- Приет разход за отстраняване на един дефект: Сдефект = 200 €/дефект;
- Инвестиция: I = 5000 €

Изчисляване на спестено време.

Спестяване от време (труд):

- Разлика във време на операция:

$$\Delta T = T \text{ преди} - T \text{ след (в минути)} \tag{5}$$

- Часове спестени на операция:

$$\Delta Tч = \frac{\Delta T}{60} \tag{6}$$

- Спестяване (€) на операция:

$$Sоп. = \Delta Tч \cdot r \tag{7}$$

- Дневното спестяване се определя като произведение от спестяването за една операция и броя операции, извършвани за един работен ден:

$$Sден = Soп. \cdot N \quad (8)$$

- Годишното спестяване от труд се определя като произведение от дневното спестяване и броя работни дни за една година:

$$Sтруд = Sден \cdot d \quad (9)$$

Със зададените числа:
– $\Delta T = 7,5 - 2,1 = 5,4$ мин
– $\Delta Tч = 5,4 / 60 = 0,09$ ч$\frac{5,4}{60}$
– Спестяване на операция = 0,09 · 10 = 0,90 €/операция
– Дневно = 0,90 · 50 = 45 €/ден
– Годишно = 45 · 250 = 11 250 €/година

В моделния пример спестеното време се трансформира в изчислен годишен икономически ефект от разходите за труд.

4.2. Анализ на спестяванията от намаляване на дефектите.

- Намаление на дефекти на ден:

$$\Delta D = Dпреди – Dслед \quad (10)$$

- Годишно спестяване от дефекти:

$$Sдефекти = (\Delta D \cdot Cдефект) \cdot d \quad (11)$$

В моделния числов пример намалението на броя дефекти се трансформира в изчислен икономически ефект въз основа на приет разход за отстраняване на един дефект.

Със зададените числа:
– $\Delta D = 14 – 9 = 5$ дефекта/ден
– Дневно спестяване = 5·200 = 1 000 €/ден
– Годишно = 1 000·250 = 250 000 €/година

В моделния пример намалението на дефектите се трансформира в изчислен икономически ефект от разходите за дефекти.

4.3. Определяне на ефекта от освободеното пространство.

Тук формулата зависи от това, кой компонент на разхода за площ се разглежда (наем, обслужване, свързан оборотен капитал и т.н.). Общ израз:

- Освободена площ:

$$\Delta A = Aпреди – Aслед \quad (12)$$

Където,
C_A = разход (€) за 1 m² за 1 година (пример: наем + обслужване)

$$Sплощ = \Delta A \cdot CA \quad (13)$$

Със зададените числа:
– $\Delta A = 120 – 85 = 35$ m².

– Приет разход за използвана площ = 10 €/m²/месец
– $C_A = 10 \cdot 12 = 120$ €/m² / година.

Тогава годишно се спестяват = 35·120 = 4 200 €/година.

4.4. Изчислен годишен икономически ефект и срок на възвръщаемост.

$$Sобщо = Sтруд + Sдефекти + Sплощ \quad (14)$$

$$Срок\ на\ възвръщаемост\ (Payback),\ години = \frac{I}{Sобщо} \quad (15)$$

$$ROI = \frac{Sобщо - I}{I} . 100\% \quad (16)$$

С изчислените по-горе числа:
– $S_{труд} = 11\ 250$ €/год.,
– $S_{дефекти} = 250\ 000$ €/год. и
– $S_{площ} = 4\ 200$ €/год.

Изчислен годишен икономически ефект при приетите параметри е 265 450 €/год.

Разбивка по компоненти:
– $S_{труд} = 11\ 250$ €/год.,
– $S_{дефекти} = 250\ 000$ €/год.,
– $S_{площ} = 4\ 200$ €/год. (при разход 10 €/m²/месец).

Срокът на възвръщаемост е 5 000 / 265 450 = 0,01884 години, което съответства на приблизително 4,7 работни дни, при 250 работни дни годишно.

Резултат: При приетите хипотетични стойности изчисленият ROI е приблизително 5209%. Полученият резултат отразява спецификата на моделния числов пример и не притежава универсален характер за практическото приложение на 5S.

5 Прилагане на индекса OIP за количествено обобщаване на резултатите.

В настоящата разработка OIP (Overall Improvement Performance Index) се използва като интегрална оценка за обобщено представяне на избрани показатели по направления на 5S. Подходът се основава на адитивна агрегация, чрез претеглена сума на оценки на отделните показатели, използвана в методите за многокритериално оценяване [4, 11]. За целите на настоящия модел са включени три компонента: подреденост, чистота и дисциплина. Приети са равни тегла на трите компонента, поради което интегралната стойност се получава чрез аритметично осредняване на оценките.

В разработката не се въвеждат универсални прагове за интерпретация на OIP, тъй като конкретните прагови стойности за приложение на индекса към 5S не са обосновани с отделен стандартизиран нормативен източник. Индексът обобщава оценките на включените показатели в рамките на разглеждания модел. Получената стойност следва да се интерпретира спрямо предварително зададените критерии на конкретната организация, а не като универсален норматив. Равните тегла са приети като опростяващо условие на модела и не са оценени статистически. Тъй като трите оценки са представени на една и съща 0–100% скала, допълнителна нормализация не се извършва.

$$OIP = \Sigma(W_i \cdot I_i),\ \Sigma W_i = 1 \quad (17)$$

- $I_{подреденост} = 85\%$,
- $I_{чистота} = 80\%$,
- $I_{дисциплина} = 70\%$.

При равни тегла $W_1 = W_2 = W_3 = 1$, където:

$OIP = (85 + 80 + 70) / 3 \approx 78{,}3\%$.

Получената стойност представлява агрегирана оценка в рамките на приетите показатели и тегла и не следва да се приема като универсална оценка за внедряването на 5S.



Фиг. 4. Моделно процентно подобрение на показателите при приетите данни от табл. 2. Визуализира единствено относителните изменения, изчислени от приетите параметри. Графиката не представя емпирични резултати от конкретно предприятие. Източник: авторски изчисления.

6 Систематизиране на изчислителния подход.

Получените резултати от моделния числов пример са обобщени, чрез систематизирана таблица, която представя основните формули, означения и съответните им стойности. Таблица 3 синтезира изчислителните процедури, приложени в настоящата разработка.

7 Заключение

Методологията 5S е структуриран подход за организация, стандартизация и поддържане на работната среда, чието систематично прилагане допринася за повишаване на оперативната ефективност и безопасността в производствените предприятия. В настоящата разработка количествената оценка е представена чрез показатели за време,

площ, дефекти, финансов ефект и интегралния показател OIP. Получените изчисления показват, как подобни показатели подпомагат анализа на ефектите от 5S, но не представляват емпирично изследване на реално функциониращо производствено предприятие.

Таблица 3. Обобщение на изчислителния алгоритъм и получените резултати. Източник: авторски изчисления.

Формула	Показател	Означения	Условна стойност
(5)	Разлика във времето за търсене	$\Delta T = T_{преди} - T_{след}$	7,5 − 2,1 = 5,4 мин.
(10)	Разлика в броя дефекти	$\Delta D = D_{преди} - D_{след}$	14 − 9 = **5 дефекта/ден**
(12)	Освободена площ	$\Delta A = A_{преди} - A_{след}$	120−85 = **35 м²**
(14)	Изчислен годишен икономически ефект при приетите параметри	$S_{общо} = S_{труд} + S_{дефекти} + S_{площ}$	**265 450 €/год.**
(15)	Срок на възвъщаемост	$Payback = \frac{I}{S_{общо}}$	0,01884 г. ≈ **4,7 работни дни**
(16)	Възвръщаемост на инвестицията	$ROI = \frac{S_{общо} - I}{I} . 100\%$	≈ **5209%**

Основните ограничения на настоящата разработка са свързани с използването на хипотетични входни данни и с липсата на валидиран емпиричен контекст. Стойностите на ROI (≈ 5209%) и OIP (≈ 78,3%) следва да се разглеждат единствено, като резултати от моделния числов пример, а не като типични или очаквани резултати от внедряване на 5S. OIP е приложен чрез адитивна агрегация на избраните показатели, като конкретните прагови стойности за 5S не са приети за универсални, поради липса на отделна стандартизирана обосновка. Предложеният методологичен подход е възможно да служи като основа за планиране и оценка на ефектите от 5S в реални условия. Прилагането на 5S в производствени предприятия може да допринесе за намаляване на загубите и подобряване на организацията на работната среда [2, 3, 9]. Като направления за бъдещи изследвания могат да се разглеждат:

1. Провеждане на емпирично изследване в реално производствено или логистично предприятие с базови и последващи измервания;
2. Разработване и последващо валидиране на прагови стойности за интерпретация на OIP, чрез сравнителен анализ с одитни резултати от внедрени 5S системи;
3. Интегриране на дигитални технологии за автоматизирано събиране на данни и мониторинг на показателите в реално време [1, 3];
4. Изследване на връзката между 5S и безопасността на труда като самостоятелен обект на количествен анализ.
5. Изследване на възможностите за интегриране на предложения методологичен подход с по-широки Lean–Six Sigma концепции, с цел постигане на синергичен ефект при статистическото управление на качеството и дългосрочното минимизиране на дефектите в производствените процеси.

Предложеният подход е приложим за оптимизация на работните процеси, както в производствени предприятия, така и за административни дейности.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Авторски колектив. Процеси на дигитализация в системата за управление на организацията. Русе: Академично издателство „Русенски университет“, 2020, ISBN 978-954-712-827-9.

[2] Костов, Р. Въвеждане на системата за организация на работното пространство „5S“ (Workspace Organization 5S) в машиностроителните предприятия. // Известия на Съюза на учените, Варна, № 1, 2010.

[3] Николов, К. Lean engineering в ерата на индустрия 4.0: дигитални технологии за усилване на непрекъснатото подобрение. // Годишник на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“, 2025, с. 286–293. ISSN 1314-8818 (print), ISSN 2815-4703 (online).

[4] Kaliszewski, I., Podkopaev, D. Simple additive weighting–A metamodel for multiple criteria decision analysis methods. Expert Systems with Applications, 54, 2016, pp. 155–161.

[5] Montgomery, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013. ISBN 9781118146811.

[6] Ohno, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

[7] Senthil Kumar, K. M., Akila, K., Arun, K. K., Prabhu, S., Selvakumar, C. Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries. Materials Today: Proceedings, 62(4), 2022, pp. 1913–1916.

[8] Srinivasan, S., Ikuma, L. H., Shakouri, M., Nahmens, I., Harvey, C. 5S impact on safety climate of manufacturing workers. Journal of Manufacturing Technology Management, 27(3), 2016, pp. 364–378.

[9] Todorović, M., Čupić, M. How Does 5S Implementation Affect Company Performance? A Case Study Applied to a Subsidiary of a Rubber Goods Manufacturer from Serbia. Engineering Economics, 28(3), 2017, pp. 311–322.

[10] Womack, J. P., Jones, D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Free Press, 2010. ISBN 9781439135952.

[11] Zavadskas, E. K., Turskis, Z. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. Technological and Economic Development of Economy, 17(2), 2011, pp. 397–427.

[12] ASQ. Five S Tutorial. https://asq.org/quality-resources/five-s-tutorial. налично 01.09.2025.

[13] Creative Safety Supply. What are the Best Key Performance Indicators for 5S Implementation? https://www.creativesafetysupply.com/qa/5s/what-are-the-best-key-performance-indicators-for-5s-implementation/. налично 25.11.2025.

[14] FAO. Economic engineering applied to the fishery industry. 7. Profitability. https://www.fao.org/4/v8490e/V8490e09.htm. налично 02.10.2026.

[15] Ghodrati, A., Zulkifli, N. The Impact of 5S Implementation on Industrial Organizations' Performance. International Journal of Business and Management Invention, 2(3), 2013, pp. 43–49. https://www.ijbmi.org/papers/Vol%282%293/Version-1/G234349.pdf. налично 25.11.2025.

[16] Kaizen-bg.com. Lean / 5S система. https://kaizen-bg.com/bg/kaizen/lean/service/5s-sistema. налично 25.11.2025.

[17] Learn Lean Sigma. How to Implement 5S. https://www.learnleansigma.com/howto/how-to-implement-5s/. налично 25.11.2025.

[18] Лийн България ООД. 5 S – Пет стъпки към организиране на работното място. https://lean.bg/5-s/. налично 02.09.2025.

[19] Kazakov St. Resources and Organization of Processes in Logistics Engineering. SocioBrains, 2020, pp. 54–59. ISSN 2367-5721.

[20] Kazakov St. Analysis of logistic efficiency. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 18, 2020, pp. 41–47. ISSN 1314-6289.

THE DIFFERENTIAL EQUATION – WHERE THE DERIVATIVE AND THE INTEGRAL MEET: AN INTEGRATED APPROACH TO TEACHING MATHEMATICS, PHYSICS, AND TECHNICAL SCIENCES

GERGANA I. MANOVA, IRINA I. APOSTOLOVA, LYUBOMIR E. MANOV

ABSTRACT: *This paper examines simple differential equations as the point where the derivative and the integral meet: the derivative expresses a law of change, and the integral reconstructs the solution from it. Separation of variables and classical physical models – exponential growth and decay, Newton's law of cooling, and RC-circuit charging – are analyzed, together with the full PID control law as an engineering synthesis of both operations. A five-stage methodological model is proposed, and the paper carries forward ideas from two concurrent works by the authors, devoted respectively to the derivative and to the integral.*

KEYWORDS: *differential equation, derivative, integral, integrated education, mathematics, physics, technical sciences*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26GII

1 Introduction

This paper continues a series of works by the authors, each devoted to a concept from mathematical analysis as an integrative didactic core for teaching mathematics, physics, and technical sciences. A concurrent work for derivative presents it as a measure of the rate of change; another, about the integral, presents it as a means of reconstructing the accumulated result of that rate. Here we look at the point where the two concepts actually meet: the simple differential equation. It states a law of change, and finding its solution requires integration [1, 11].

Many fundamental laws of nature are stated as relationships between a quantity and the rate of its change, rather than as explicit functions. A radioactive substance decreases at a rate proportional to the amount present. The temperature of a body changes at a rate proportional to its difference from the surrounding environment. The current in an electrical circuit follows Kirchhoff's law. All these are differential equations, and solving them is where the skills of differentiation and integration come together [2, 8, 13].

In everyday teaching practice, differential equations are often studied as a separate topic, detached from the preceding material on differential and integral calculus, rather than presented as its natural continuation and application. That is a missed opportunity: this is where students could see most clearly why the two central operations of analysis exist and how they interact [4, 5]. The integration of educational content across disciplines can also be considered in relation to contemporary teaching approaches [29].

Contemporary educational frameworks place emphasis on competences, interdisciplinary connections, and the application of knowledge in new situations [7, 9]. Interdisciplinary education has also been examined in the context of technology and entrepreneurship in primary school [28]. In the Bulgarian pedagogical literature, the competence-based approach and interdisciplinary connections between mathematics and other sciences are also the subject of growing interest [14, 15]. The differential equation suits such integration particularly well, since by its very nature it is a synthesis rather than a freestanding new topic.

The purpose of this paper is to present simple differential equations as the next stage of integrated teaching of mathematics, physics, and technical sciences, proposing a methodological

model analogous to those already developed for the derivative and the integral. A multi-objective approach to the simultaneous teaching of thematically related methodological units is described in [26].

2 The Differential Equation as a Mathematical Concept

A differential equation is an equation relating an unknown function to its derivatives. The order of the equation is determined by the highest order of derivative appearing in it. A solution of the differential equation is any function that satisfies it identically; the general solution contains an arbitrary constant, and a particular value of the constant is determined by an initial condition.

The simplest and pedagogically most transparent class is that of separable equations, which can be written in the form:

(1) $dy/dx = g(x)\cdot h(y)$

Solving them comes down to integrating both sides once the variables have been separated:

(2) $\int dy/h(y) = \int g(x)\,dx$

This step captures the whole logic of this paper: the differential equation states the derivative of the unknown function, and the integral is the operation that reconstructs the function itself. Here, the derivative and the integral are less two separate curriculum topics than two consecutive steps toward solving one and the same problem [1, 11].

Geometrically, the family of solutions of a first-order differential equation can be visualized through a slope field – at every point of the plane a short segment is drawn with slope equal to the value of dy/dx at that point. The particular solution corresponding to a given initial condition is the curve that follows the direction of the field at every one of its points (see fig. 3 in section 6).

3 The Differential Equation in Physics – A Common Language for Laws of Change

Radioactive decay is a classic example: the rate of decrease of the number of nuclei is proportional to the amount present:

(3) $dN/dt = -\lambda N$

with a solution obtained by separation of variables:

(4) $N(t) = N_0 . e^{(-\lambda t)}$

Newton's law of cooling states that the rate of change of temperature is proportional to the difference from the ambient temperature:

(5) $dT/dt = -k\cdot(T - T_env)$

with solution:

(6) $T(t) = T_env + (T_0 - T_env)\cdot e^{(-kt)}$

[8, 13]. In both examples, the derivative describes the physical law in its most natural form – a rate of change – while integration is the technique through which the law becomes a prediction of the system's future behavior.

What these four laws share is more than a superficial resemblance: all four models show exponential approach toward an equilibrium state (zero, ambient temperature, or terminal

velocity), because they all arise from the same type of differential equation – the derivative is proportional to the deviation from equilibrium.

Table 1. **Simple differential equations and their solutions**

Differential equation	Solution	Physical meaning
$dN/dt = -\lambda N$	$N(t) = N_0 e^{(-\lambda t)}$	Radioactive decay
$dT/dt = -k(T-T_env)$	$T(t) = T_env+(T_0-T_env)e^{(-kt)}$	Newton's law of cooling
$dP/dt = rP$	$P(t) = P_0 e^{(rt)}$	Population growth
$dv/dt = g-(k/m)v$	$v(t) = (mg/k)(1-e^{(-kt/m)})$	Fall with air resistance

4 The Differential Equation in Technical Sciences

Engineering practice offers the most vivid example of the synthesis between derivative and integral – the PID controller, discussed in both of the concurrent works mentioned above. The full control law combines all three components in a single expression:

(7) $$u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \cdot \int_0^t e(\tau)d\tau + Kd \cdot de(t)/dt$$

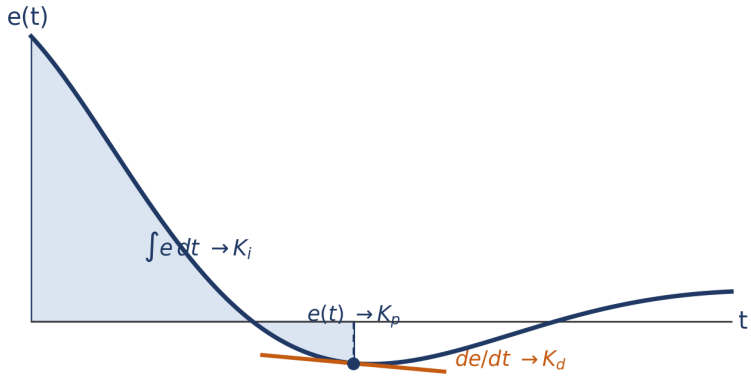


Fig. 1. The three components of the PID controller on the error signal e(t): current value, accumulation (integral), and trend (derivative)

The figure captures all three components at a single moment t on a single curve e(t). The point on the curve is the current value e(t), feeding the proportional component Kp. The shaded area under the curve from the start up to t is the accumulated error $\int_0^t e(\tau)d\tau$, feeding the integral component Ki. The slope of the tangent line at that point is the rate of change de/dt, feeding the derivative component Kd. In other words, the controller weighs three things at once: how large the error is right now, how much has built up so far, and which way it is heading – the three elements the figure makes visible.

The proportional component Kp·e(t) responds to the current deviation; the integral component Ki.$\int_0^t e(\tau)d\tau$ accumulates past error and removes steady-state inaccuracy; the derivative component Kd·de/dt responds to the trend of change and prevents overshoot. None of the three components alone would be sufficient – it is precisely their combination in a single differential-integral equation that makes the controller effective [9, 10].

This equations are rarely solved analytically in engineering practice – numerical methods are used instead. The simplest of these, Euler's method, approximates the solution step by step:

(8) $$y[n+1] = y[n] + h \cdot f(t[n], y[n])$$

where h is a small time step and f defines the differential equation dy/dt = f(t, y). Euler's method is a discrete analogue of the definite integral: it sums small contributions step by step, the same way the Riemann sum does in the concurrent work on the integral [3]. Such numerical schemes underlie simulations of electrical circuits, mechanical systems, and growth models in real engineering applications. Related studies address the analysis and monitoring of RLC frequency characteristics [17], modelling of transient processes with generalized nets [21], MATLAB-based simulation of electrical circuits [23], and mathematical models of second-order circuit transients [24]. This kind of numerical experimentation also resembles inquiry-based approaches in physics education [6], and, as a concrete computational activity, connects to the broader idea of interdisciplinary links between mathematics and computer science addressed in the Bulgarian methodological literature [16].

5 Methodological Model for Integrated Teaching

Analogously to the models proposed for the derivative and the integral, integrating differential equations into teaching can follow five consecutive stages (fig. 2).

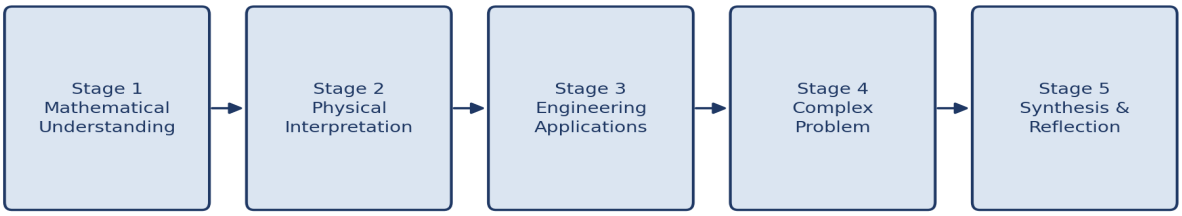


Fig. 2. Methodological model for integrated teaching through the differential equation

Stage 1. Mathematical understanding. The concepts of order, solution, initial condition, and the method of separation of variables are introduced as a direct application of the integral.

Stage 2. Physical interpretation. The differential equation is examined through radioactive decay, cooling, and other laws of proportional change.

Stage 3. Engineering applications. PID control, numerical solution methods (Euler's method), and modeling of technical systems are presented. A separate engineering example is the analysis of braking deceleration and braking-system efficiency using MATLAB [22].

Stage 4. Complex problem. Students are given a case requiring the formulation and solution of a differential equation under given physical conditions – for example, the time needed for a liquid to cool to a given temperature, or for a capacitor to reach a given level of charge. The task can also be organized as a short technological project, following the logic of project-based learning [12].

Stage 5. Synthesis and reflection. The synthesizing principle is drawn out: the derivative states the law, the integral finds the solution, and the differential equation is the bridge between them. Students discuss how the three concepts work together.

6 Example from Teaching Practice

In our teaching practice we illustrate the complex problem of Stage 4 through the basic example of exponential growth or decay:

(9) $dy/dt = k \cdot y$

The solution is obtained by separation of variables:

(10) $dy/y = k\,dt$

(11) $\int dy/y = \int k\,dt \Longrightarrow ln|y| = kt + C$

(12) $y(t) = y_0 \cdot e^{(kt)}$

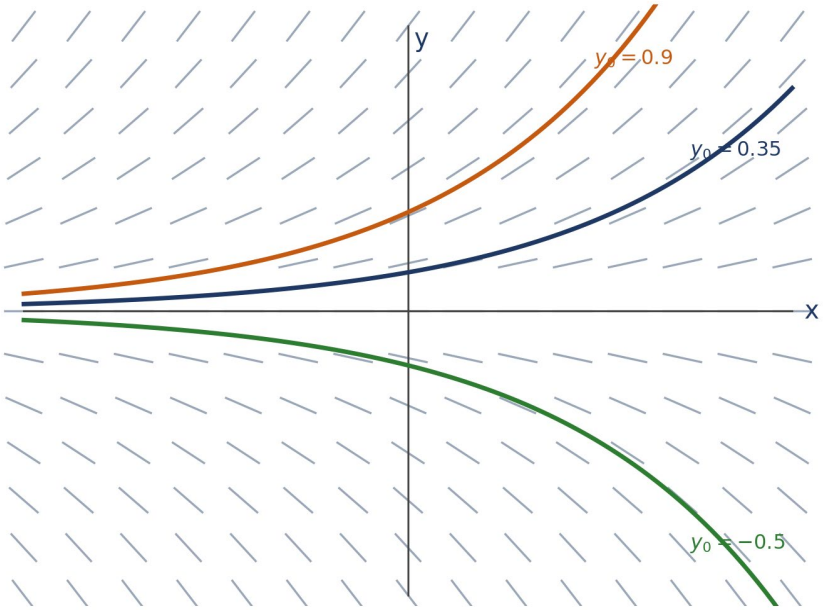


Fig. 3. Slope field of dy/dt = ky with several particular solutions for different initial conditions y_0

The slope field reveals something that purely analytical solving easily conceals: there exists an entire family of solutions – one curve for each value of y_0 – rather than a single solution. Related teaching approaches address the mean value theorems through a nonlinear method and graphical representations [18, 19], as well as interactive methods in higher mathematics education [20]. A definite integral yields a number; the indefinite integral used here yields a function with an arbitrary constant, the same point made in the concurrent work on the integral. Teaching improper integrals in an electronic environment is discussed separately in [25]. The initial condition then picks out one curve from that whole family.

To illustrate another classical method for solving a differential equation, we consider the charging of a capacitor in an RC circuit from a constant supply E:

(13) $dQ/dt + Q/(RC) = E/R$

The equation is linear of first order and is solved using an integrating factor μ(t) = e^(t/RC). Multiplying both sides by it, the left-hand side is recognized as the derivative of a product:

(14) $d/dt\,[Q \cdot e^{(t/RC)}] = (E/R) \cdot e^{(t/RC)}$

Integrating both sides with respect to t:

(15) $Q \cdot e^{(t/RC)} = EC \cdot e^{(t/RC)} + C_1$

and solving for Q using the initial condition Q(0) = 0 (the capacitor is initially uncharged), from which $C_1 = -EC$:

(16) $Q(t) = CE \cdot (1 - e^{(-t/RC)})$

For constant E, R, and C, this equation actually turns out to be separable too – dQ/(EC−Q) = dt/(RC) – and the same result follows by a second route. What really distinguishes the two methods is their range, not whether this one equation happens to separate: the integrating factor keeps working even if the supply varies with time (dQ/dt + Q/(RC) = E(t)/R), a case where separation of variables would fail outright. The integrating factor is the general tool; separation of variables succeeds here only because the equation happens to be autonomous.

Comparing the two examples shows students that choosing a method is about more than the form of one equation – it is about how well that method holds up once conditions change. The goal of the integral stays the same either way: moving from a law of change to the quantity itself.

In practice we organize classes around complex cases: determining the time needed for a cup of coffee to cool to a given temperature, or for a capacitor to reach a given level of charge. Observations of student work reveal a trend analogous to that found with the derivative and the integral: when the differential equation is presented as a synthesis rather than a new, isolated topic, understanding of all three related concepts is retained longer. These observations are qualitative in nature; a more thorough empirical verification remains to be carried out. The application of artificial intelligence in geodesy teaching provides a separate example of technology-supported education [27].

7 Conclusion

This paper is the third in a series of papers united around one and the same idea: Concept from mathematical analysis as an integrative didactic core for teaching mathematics, physics, and technical sciences. The derivative measures the rate of change; the integral reconstructs the accumulated result of that rate; the differential equation is the form in which natural laws most often appear, and solving it is the point where the two central operations of analysis work together.

The proposed five-stage methodological model, applied consecutively to the derivative, the integral, and the differential equation, confirms that the approach is generalizable beyond a single concept: definition, physical interpretation, engineering application, and complex problem can organize teaching across an entire branch of mathematics in one and the same sequential way.

Future work remains the empirical verification of the model across the concepts examined so far, as well as its extension to further areas of mathematics – systems of differential equations, second-order equations, and other mathematical structures – with the aim of building a comprehensive integrated program in mathematics for technical specialties.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Apostol, T. M. (1967). Calculus, Vol. 1. New York: Wiley.
[2] Boyce, W. E., DiPrima, R. C. (2012). Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems (10th ed.). Hoboken: Wiley.
[3] Burden, R. L., Faires, J. D. (2010). Numerical Analysis (9th ed.). Boston: Cengage Learning.
[4] Bybee, R. W. (2013). The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
[5] de Vries, M. J. (2016). Teaching about Technology: An Introduction to the Philosophy of Technology for Non-philosophers (2nd ed.). Cham: Springer.

[6] Etkina, E., Van Heuvelen, A. (2007). Investigative Science Learning Environment: A Science Process Approach to Learning Physics. In E. F. Redish & P. J. Cooney (Eds.), Research-Based Reform of University Physics. College Park, MD: American Association of Physics Teachers.
[7] European Commission. (2019). Key Competences for Lifelong Learning. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
[8] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2014). Fundamentals of Physics (10th ed.). Hoboken: Wiley.
[9] International Technology and Engineering Educators Association. (2020). Standards for Technological and Engineering Literacy. Reston, VA: ITEEA.
[10] National Research Council. (2012). A Framework for K–12 Science Education. Washington, DC: National Academies Press.
[11] Stewart, J. (2016). Calculus (8th ed.). Boston: Cengage Learning.
[12] Thomas, J. W. (2000). A Review of the Research on Project-Based Learning. San Rafael, CA: The Autodesk Foundation.
[13] Young, H. D., Freedman, R. A. (2016). University Physics with Modern Physics (14th ed.). Boston: Pearson.
[14] Vasileva-Ivanova, R. (2014). The Competence-Based Approach in Mathematics Education [in Bulgarian]. Proceedings of the University of Ruse, 53(6.2), 180–185.
[15] Izvorska, D. (2023). The Relationship between Critical Thinking and the Competence-Based Approach in Higher Mathematics Education [in Bulgarian]. Pedagogika. https://doi.org/10.53656/ped2023-8.6
[16] Karashtranova, E., Atanasova, I., Borisova, N. (2024). Possibilities for Developing Educational Resources to Establish Interdisciplinary Connections between Mathematics and Computer Science [in Bulgarian]. https://doi.org/10.53656/math2024-6-2-opp
[17] Лалев Х., Желев С., Цанков Ц. Анализ и мониторинг на честотните характеристики на RLC вериги. Научна сесия на факултет „Артилерия, ПВО и КИС“, Шумен, 2009, ISSN 1314-1953.
[18] Todorova-Lazarova, V., Ivanova, P., Lefterov, R. A Nonlinear Approach to Teaching the Mean Value Theorems. Part I: A Description of the Method. International Scientific Conference UNITECH, Gabrovo, 21–22 November 2024, ISSN 2603-378X.
[19] Todorova-Lazarova, V., Ivanova, P., Lefterov, R. A Nonlinear Approach to Teaching the Mean Value Theorems. Part II: New Theorems and Graphical Representations. International Scientific Conference UNITECH, Gabrovo, 2024, ISSN 2603-378X.
[20] Todorova-Lazarova, V. P. Interactive Methods and Specific Features of Teaching Higher Mathematics. Management and Education, Vol. 22, No. 3, 2026, pp. 71–79, ISSN 1312-6121.
[21] Petrov, Y. Modeling Of Transients Processies In Linear Electric Circuit Of The Second Order With Generalised Net. Annual of Assen Zlatarov University – Burgas, Bulgaria, Vol. XLVI, No. 1, 2019.
[22] Petrov, Y., Staneva, L. Analysis of Braking Deceleration and the Efficiency of Automotive Braking Systems Using MATLAB. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.
[23] Mechkova, V., Staneva, L., Mechkov, B., Bandeva, K. Modelling of Transient Processes in an Electrical Circuit with MATLAB [in Bulgarian]. Annual of “Prof. Dr. Assen Zlatarov” University, Burgas, Vol. XXXVIII, No. 1, 2009, pp. 130–132.
[24] Mechkova, V., Staneva, L., Mechkova, B. Mathematical Model for Studying Transient Processes in a Second-Order Linear Electrical Circuit [in Bulgarian]. International Scientific Conference “Education, Science, Economics and Technologies”, Vol. 2, Burgas, 2015.
[25] Todorova-Lazarova, V. P., Todorov, T. D. Some Aspects of Teaching Improper Integrals in an Electronic Environment. Mathematics, 2024, 12(17), 2732. https://doi.org/10.3390/math12172732
[26] Todorov, T. D., Todorova-Lazarova, V. P. Multi-Objective Approach to Simultaneous Teaching of Thematically Related Methodological Units. Part I: Description of the Method. Proceedings of the International Conference New Perspectives in Science Education, Florence, Italy, 2026.
[27] Stefanova, A. Application of Artificial Intelligence in Geodesy Teaching [in Bulgarian]. Third National Scientific and Practical Conference “Digital Transformation of Education – Problems and Solutions”, Ruse, 24–25 April 2025, pp. 415–419. ISSN 3033-0610, ISSN 3033-0629.
[28] Burova, I. Interdisciplinary Education in Technology and Entrepreneurship in Primary School [in Bulgarian]. In: Designing Green STEAM Zones, 2024, pp. 44–52.
[29] Burova, I. Contemporary Approaches to Teaching and Their Specific Application in Technology and Entrepreneurship [in Bulgarian]. 2023, pp. 42–46.

INTELLIGENT ANALYSIS AND RECONSTRUCTION OF HAZARDOUS INTERSECTIONS THROUGH ROUNDABOUT IMPLEMENTATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE *

EKATERINA M. HRISTOVA, TSVETOSLAV S. TSANKOV

ABSTRACT: *The paper examines the use of intelligent transportation systems and artificial intelligence to identify and assess hazardous intersections. It discusses their conversion into roundabouts to reduce traffic conflicts and improve road safety. Video monitoring, computer vision and digital models support risk assessment and the comparison of reconstruction options.*

KEYWORDS: *hazardous intersections, roundabouts, road safety, artificial intelligence*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26EMT

ИНТЕЛИГЕНТЕН АНАЛИЗ И РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ОПАСНИ КРЪСТОВИЩА ЧРЕЗ ИЗГРАЖДАНЕ НА КРЪГОВИ КРЪСТОВИЩА И ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

ЕКАТЕРИНА М. ХРИСТОВА, ЦВЕТОСЛАВ С. ЦАНКОВ

АБСТРАКТ: *Докладът разглежда използването на интелигентни транспортни системи и изкуствен интелект за идентифициране и оценка на опасни кръстовища. Обсъжда се преобразуването им в кръгови кръстовища с цел намаляване на транспортните конфликти и повишаване на пътната безопасност. Видеонаблюдението, компютърното зрение и цифровите модели подпомагат оценката на риска и сравняването на варианти за реконструкция.*

1 Въведение

Пътнотранспортните произшествия продължават да бъдат сред основните причини за човешки жертви и материални щети в световен мащаб [23]. Значителна част от тях възникват в зоната на кръстовищата, където се пресичат различни транспортни потоци и се формират множество конфликтни точки. С нарастването на автомобилния парк и интензивността на движението традиционните подходи за анализ и реконструкция на проблемните участъци все по-трудно осигуряват необходимото ниво на безопасност.

Съвременните интелигентни транспортни системи предоставят възможност за непрекъснато наблюдение, анализ и оценка на транспортната среда чрез използване на видеонаблюдение, компютърно зрение, транспортни сензори, цифрови модели и технологии за обработка на големи обеми данни [2, 25]. Това позволява идентифициране на опасни кръстовища още преди натрупването на значителен брой пътнотранспортни произшествия и създава предпоставки за прилагане на превантивни инженерни мерки.

Един от доказано ефективните методи за повишаване на безопасността е преобразуването на опасни кръстовища в кръгови кръстовища. Чрез намаляване на конфликтните точки и ограничаване на скоростта на движение този тип инфраструктурни

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

решения водят до съществено намаляване на риска от тежки пътнотранспортни произшествия [3, 6].

Целта на настоящото изследване е да се анализират възможностите за използване на интелигентни транспортни системи и изкуствен интелект при идентифицирането, оценката и реконструкцията на опасни кръстовища, както и да се разгледат предимствата на кръговите кръстовища като средство за повишаване безопасността на движението.

2 Интелигентен анализ на транспортните потоци за откриване на опасни кръстовища

Интелигентният анализ на транспортните потоци представлява основен инструмент за идентифициране на опасни участъци от пътната инфраструктура и вземане на обосновани решения за тяхното преструктуриране. Вместо реконструкцията на кръстовища да се основава единствено на периодични обследвания или на вече настъпили пътнотранспортни произшествия, съвременният подход използва непрекъснато събиране и анализ на данни за реалното поведение на участниците в движението. Анализират се показатели като интензивност на движението, средни скорости, време на изчакване, конфликтни маневри, резки спирания, рискови пресичания и честота на възникване на опасни ситуации [8, 11]. Спирачното забавяне и ефективността на спирачните системи са анализирани в [18], а влиянието на натоварването и налягането в гумата върху контактното петно е изследвано в [1].

За тази цел могат да се използват видеокамери, индуктивни контури, радарни датчици, лидарни сензори, GPS данни от превозни средства и специализирани системи за компютърно зрение. Получената информация позволява автоматично откриване на кръстовища с повишен риск за безопасността, както и на участъци, при които геометрията на пътя или организацията на движението създават предпоставки за възникване на произшествия. Натрупаните данни могат да бъдат използвани както за текущ мониторинг, така и за дългосрочно планиране на инфраструктурни подобрения.

Съвременните системи за наблюдение на движението предоставят възможност за детайлно изследване на поведението на участниците в транспортната среда. Чрез комбинация от видеонаблюдение, автоматично разпознаване на обекти и анализ на траектории могат да бъдат регистрирани всички взаимодействия между превозни средства, пешеходци и велосипедисти в зоната на кръстовищата. Свързани изследвания разглеждат вероятностната оценка на риска от сблъсък на пешеходна пътека [15], безопасното разстояние между превозно средство и пешеходец [16] и риска при сблъсъци между автомобили и пешеходци [17]. Това позволява установяване на закономерности, които често остават незабелязани при традиционните методи за обследване.

Натрупаните данни се обработват чрез специализирани алгоритми, които оценяват нивото на риск във всеки отделен участък. Освен реално настъпилите произшествия се анализират и така наречените „почти настъпили инциденти“, при които е било необходимо рязко спиране, внезапно отклонение от траекторията или аварийна маневра за избягване на сблъсък. Подобни събития често са ранни индикатори за недостатъци в организацията на движението и геометрията на кръстовището [24].

Получените резултати позволяват създаване на приоритетна карта на опасните кръстовища, при която всеки обект се оценява според неговото въздействие върху безопасността на движението. Това създава възможност инвестициите в транспортната инфраструктура да бъдат насочени към местата с най-висок обществен ефект. В случаите, когато анализът покаже наличие на голям брой конфликтни точки и повтарящи се рискови

ситуации, може да бъде разгледана възможността за преобразуване на съществуващото кръстовище в кръгово.

Непрекъснатото наблюдение осигурява възможност за проследяване на ефекта от извършените инфраструктурни промени. По този начин всяко реконструирано кръстовище може да бъде оценено чрез реални данни за безопасността и ефективността на движението, което позволява последващо усъвършенстване на прилаганите инженерни решения.

3 Идентифициране на опасни кръстовища чрез интелигентен анализ

Повишаването на безопасността на движението изисква своевременно откриване на участъците от пътната инфраструктура, които създават предпоставки за възникване на пътнотранспортни произшествия. В много случаи опасните кръстовища продължават да функционират години наред без съществени промени, въпреки че ежедневно в тях възникват рискови ситуации. Съвременните технологии предоставят възможност тези проблемни зони да бъдат откривани чрез непрекъснат анализ на реалните процеси в транспортната среда.

Интелигентните транспортни системи събират информация от видеокамери, сензори, безпилотни летателни апарати и други източници на данни, които позволяват подробно проследяване на движението в зоната на кръстовищата. Чрез обработка на получената информация могат да бъдат установени повтарящи се опасни маневри, чести отнемания на предимство, рязко намаляване на скоростта, конфликти между транспортни потоци и други признаци за наличие на повишен риск.

Получените резултати позволяват създаване на обективна оценка на безопасността за всяко наблюдавано кръстовище. На тази основа могат да бъдат определени участъците, при които е необходимо предприемане на инфраструктурни мерки. Особено внимание се отделя на кръстовищата с голям брой конфликтни точки, ограничена видимост или недостатъчна пропускателна способност, тъй като именно при тях най-често се наблюдават предпоставки за възникване на тежки пътнотранспортни произшествия.

Предимство на интелигентния подход е възможността оценката да се извършва непрекъснато и автоматизирано. Вместо решенията да се базират единствено на статистика за вече настъпили произшествия, анализът позволява откриване на потенциално опасни обекти още преди да са се превърнали в места с висока аварийност. По този начин се създават условия за превантивно подобряване на инфраструктурата и за последващо преобразуване на най-рисковите кръстовища в кръгови кръстовища.

Получените резултати позволяват приоритизиране на инфраструктурните мерки според степента на риска във всяко кръстовище. Чрез анализ на конфликтните точки, интензивността на движението, ограниченията на видимостта и честотата на опасните ситуации могат да бъдат определени обектите, при които реконструкцията би довела до най-съществено повишаване на безопасността. По този начин наличните финансови и технически ресурси могат да бъдат насочени към участъците с най-висока обществена значимост [13, 19, 22].

Особено важно предимство на интелигентния подход е възможността за непрекъсната оценка на безопасността на транспортната инфраструктура. Вместо решенията да се основават единствено на статистика за вече настъпили произшествия, анализът използва данни в реално време за поведението на участниците в движението. Това позволява своевременно откриване на нововъзникващи рискове и актуализиране на програмите за реконструкция. По този начин процесът по преобразуване на опасните кръстовища в

кръгови кръстовища се основава на обективни показатели и може да бъде планиран с висока степен на ефективност.

На фиг. 1 е представен анализ на транспортния трафик в изследваното кръстовище. Отбелязани са основните направления на движение и зоната, в която се осъществява включване от второстепенен път към главен булевард. Анализът показва значителна неравномерност в натоварването на отделните направления, което създава предпоставки за затруднено включване в основния транспортен поток и повишава вероятността от възникване на конфликтни ситуации. Подобни характеристики са типични за кръстовища, които подлежат на допълнителна оценка за възможна реконструкция.



Фиг. 1. Анализ на транспортния трафик и конфликтните зони в кръстовище с повишен риск

4 Реконструкция на опасни кръстовища чрез изграждане на кръгови кръстовища

Един от най-ефективните инфраструктурни подходи за намаляване на пътнотранспортния травматизъм е преобразуването на съществуващи опасни кръстовища в кръгови кръстовища. Чрез анализ на аварийността, конфликтните точки и поведението на участниците в движението могат да бъдат идентифицирани обектите, при които съществува повишен риск от възникване на пътнотранспортни произшествия. Особено внимание се отделя на кръстовищата с ограничена видимост, висока интензивност на движение и сложна организация на транспортните потоци.

При традиционните триклонни и четириклонни кръстовища се формират множество точки на пресичане между различните направления на движение. В тези зони често възникват конфликти между превозните средства вследствие на неправилна преценка на

ситуацията, неспазване на предимството или недостатъчно време за реакция. Натрупването на подобни рискови фактори превръща определени кръстовища в устойчиви огнища на пътнотранспортни произшествия, което налага предприемането на инженерни мерки за тяхното преструктуриране.

Типичен пример за опасна конфликтна ситуация е извършването на ляв завой от второстепенен път към многолентов булевард с интензивно движение. Водачът е принуден едновременно да преценява скоростта и положението на превозните средства в няколко ленти за движение, което увеличава вероятността от грешка при оценката на пътната обстановка. При подобни условия рискът от странични удари и тежки пътнотранспортни произшествия нараства значително.



Фиг. 2. Реален пример за опасно кръстовище с включване от второстепенен път към булевард с интензивно движение

Преобразуването в кръгово кръстовище създава условия за организирано и по-безопасно движение, като значително намалява броя на конфликтните точки и ограничава възможността за тежки челни и странични удари. Допълнителен положителен ефект се постига чрез намаляване на скоростта при навлизане в кръговото пространство, което води до съществено ограничаване на последствията при евентуален инцидент.

Преобразуването на опасно кръстовище в кръгово кръстовище води до съществена промяна в начина на взаимодействие между участниците в движението. Вместо множество пресичащи се траектории се формира организирано движение около централен остров, което намалява вероятността от възникване на конфликтни ситуации. Практиката показва, че подобен тип реконструкция оказва съществено влияние върху ограничаването на тежките пътнотранспортни произшествия и повишаването на общото ниво на безопасност.

Съвременните методи за транспортен анализ позволяват предварително оценяване на очаквания ефект от реконструкцията. Чрез използване на цифрови модели, компютърни

симулации и анализ на реални данни могат да бъдат изследвани различни варианти на организация на движението преди реалното изпълнение на строителните дейности. Пример за транспортна симулационна среда е SUMO [14]. Това създава възможност за избор на решение, което осигурява максимално намаляване на риска при конкретните условия на съответното кръстовище.

Важен елемент от процеса е сравнението между състоянието преди и след реконструкцията. Анализът включва броя на конфликтните точки, средните скорости на движение, видимостта за водачите и честотата на рисковите маневри. Получените резултати дават възможност да се оцени степента на подобрение и да се аргументира необходимостта от внедряване на аналогични решения и на други проблемни участъци от пътната мрежа.

Особено съществено предимство на интелигентните системи е възможността за последващо наблюдение на реконструираното кръстовище. Чрез автоматизирано събиране и обработка на данни може да се проследява дългосрочният ефект върху безопасността и да се оценява дали са необходими допълнителни инженерни мерки. По този начин процесът на реконструкция се превръща в част от непрекъснат цикъл на анализ, оценка и усъвършенстване на транспортната инфраструктура.

5 Оценка на риска и критерии за реконструкция на опасни кръстовища

Ефективното подобряване на безопасността на движението изисква обективна оценка на риска във всяко кръстовище. За тази цел се анализират различни фактори, включително интензивност на движението, брой и вид на пътнотранспортните произшествия, ограничения на видимостта, геометрични характеристики на пътя и поведението на участниците в движението. Комбинираният анализ на тези показатели позволява определяне на нивото на риск и идентифициране на участъците, при които е необходимо предприемане на инженерни мерки.

Съвременните интелигентни системи предоставят възможност за автоматизирано събиране и обработка на големи обеми информация в реално време. Чрез видеонаблюдение, компютърно зрение и специализирани аналитични алгоритми могат да бъдат установени закономерности, които показват наличие на опасни условия за движение. Особено внимание се отделя на честотата на рисковите маневри, внезапните спирания, нарушенията на предимството и натрупването на конфликтни ситуации между различните участници в движението.

Таблица 1. Критерии за оценка на риска при кръстовища

Показател	Нисък риск (1 т.)	Среден риск (2 т.)	Висок риск (3 т.)
Средноденонощна интензивност на движение	до 5 000 МПС/ден	5 000 – 15 000 МПС/ден	над 15 000 МПС/ден
ПТП за последните 5 години	0 – 1	2 – 4	≥ 5
Тежки ПТП с пострадали	0	1	≥ 2
Видимост при подходите	добра	ограничена	силно ограничена
Леви завои през насрещно движение	няма	единични	множество
Конфликтни точки	до 8	9 – 16	над 16
Рискови маневри (AI анализ)	редки	периодични	чести
Средно време за изчакване	до 10 s	10 – 30 s	над 30 s

След извършване на оценката кръстовищата могат да бъдат класифицирани според степента на риска и необходимостта от реконструкция. Обектите с най-високи стойности на показателите за опасност се определят като приоритетни за последващи инфраструктурни подобрения. В много случаи анализът показва, че преобразуването в кръгово кръстовище представлява най-ефективното решение за ограничаване на риска и повишаване безопасността на движението.

Оценка на риска:

- 8 – 12 точки → Нисък риск;
- 13 – 18 точки → Среден риск;
- 19 – 24 точки → Висок риск;
- над 24 точки → Необходимост от приоритетна реконструкция.

Представената методика позволява комбинирана оценка на различни фактори, влияещи върху безопасността на движението. Чрез използване на количествени показатели може обективно да се сравняват различни кръстовища и да се определят приоритетите за реконструкция. Кръстовищата с най-висок общ резултат следва да бъдат разглеждани като кандидати за преобразуване в кръгови кръстовища или за прилагане на други инженерни мерки за повишаване на безопасността.

Прилагането на подобен подход позволява процесът на реконструкция да бъде основан на реални данни и измерими показатели, а не единствено на експертни оценки или на статистика за вече настъпили произшествия. По този начин се създават условия за по-ефективно планиране на инвестициите и за постигане на по-висок обществен ефект от реализираните инфраструктурни проекти.

Интелигентните системи предоставят възможност за непрекъснато проследяване на безопасността в зоната на кръстовищата както преди, така и след извършване на реконструкцията. Чрез анализ на данните от видеонаблюдение и автоматизирана обработка на информацията могат да бъдат оценени промените в поведението на водачите, честотата на рисковите ситуации и общото ниво на безопасност. Това позволява обективно измерване на постигнатите резултати и идентифициране на необходимостта от допълнителни подобрения.

Особено важно значение има използването на цифрови модели и симулационни среди при планирането на реконструкцията. След установяване на опасно кръстовище могат да бъдат разработени различни проектни варианти за неговото преобразуване в кръгово кръстовище. Всеки от тях може да бъде предварително оценен чрез компютърно моделиране, което позволява прогнозиране на очаквания ефект върху безопасността, организацията на движението и експлоатационните характеристики на обекта още преди реалното изпълнение на строителните дейности.

6 Използване на изкуствен интелект при идентифицирането и реконструкцията на опасни кръстовища

Изкуственият интелект се превръща във все по-важен инструмент за анализ на безопасността на пътната инфраструктура и подпомагане на процесите по вземане на инженерни решения. За разлика от традиционните методи, базирани основно на експертни оценки и статистика за настъпили произшествия, съвременните алгоритми могат да обработват големи обеми данни и да откриват закономерности, свързани с възникването на рискови ситуации в зоната на кръстовищата.

Основен източник на информация за системите с изкуствен интелект са видеонаблюдението, транспортните сензори, безпилотните летателни апарати, цифровите карти и архивите с данни за пътнотранспортни произшествия. Трансформацията на геодезията чрез нови технологии и приложението на интелигентни технологии в геодезията са разгледани в [20, 21]. Чрез комбинираното използване на тези източници могат да бъдат изградени модели, които оценяват нивото на риск за всяко кръстовище и подпомагат процеса по определяне на необходимите инфраструктурни мерки.

Особено перспективни са системите, базирани на машинно обучение и дълбоки невронни мрежи [9, 10]. Те могат автоматично да разпознават опасни маневри, нарушения на предимството, внезапни промени в скоростта и други показатели, които често предхождат настъпването на пътнотранспортно произшествие. Натрупването на данни във времето позволява на алгоритмите непрекъснато да повишават точността на своите прогнози и да идентифицират нови рискови зависимости.

Съвременните AI платформи могат да подпомагат процеса по оценка и реконструкция на опасни кръстовища чрез:

- автоматизирано откриване на рискови участъци от пътната мрежа;
- анализ на причините за възникване на пътнотранспортни произшествия;
- оценка на геометричните характеристики на кръстовищата;
- прогнозиране на бъдещи рискове за безопасността;
- класифициране на кръстовищата според степента на опасност;
- генериране на варианти за инфраструктурна реконструкция;
- оценяване на очаквания ефект от различни инженерни решения;
- подпомагане избора на кръгово кръстовище като средство за намаляване на риска.

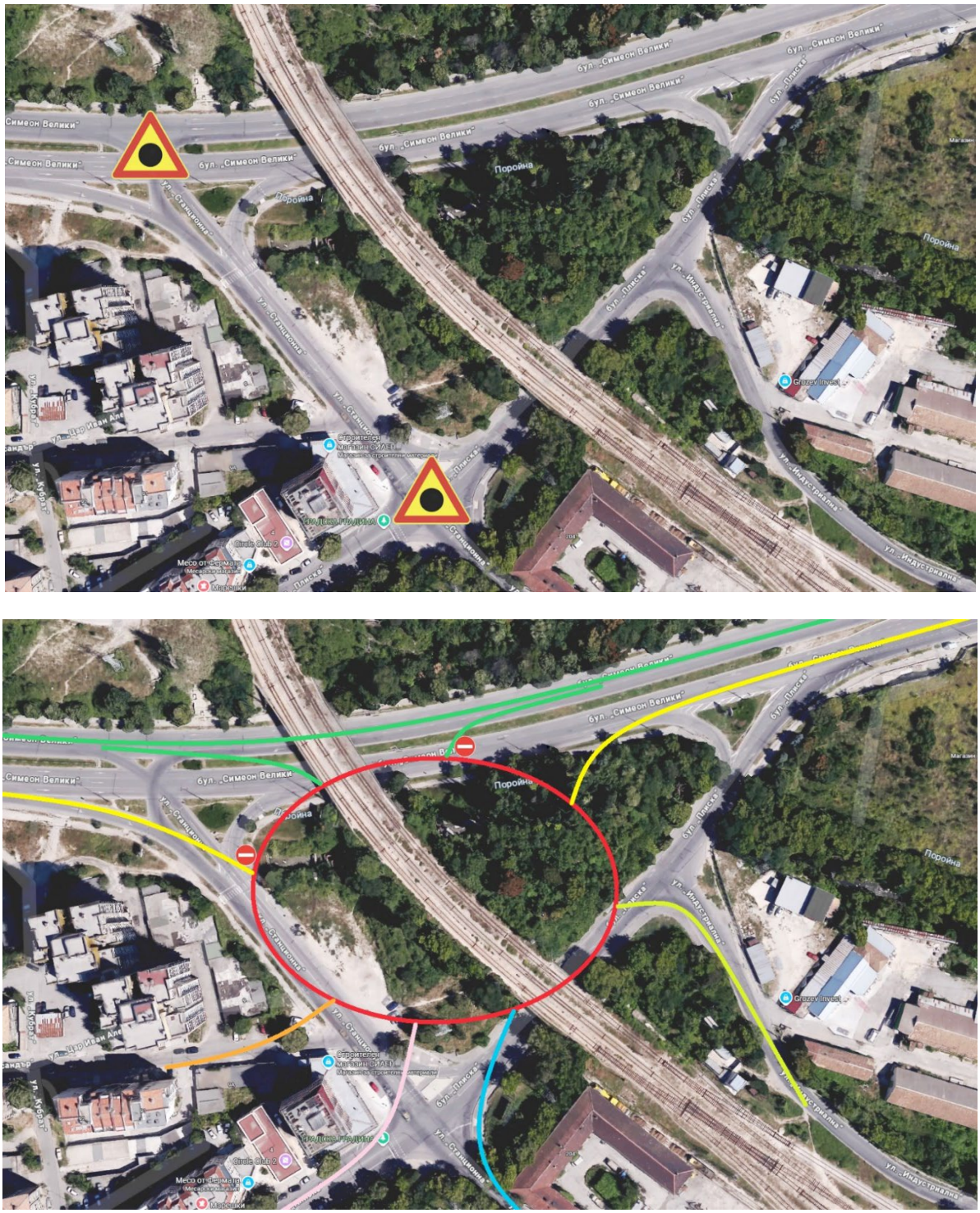
Използването на изкуствен интелект създава възможност за преминаване от реактивен към превантивен подход при управлението на пътната безопасност. Вместо мерки да се предприемат след настъпването на значителен брой произшествия, опасните участъци могат да бъдат идентифицирани още на етапа на формиране на рисковите условия, което позволява своевременно планиране на реконструкцията и ограничаване на бъдещия травматизъм.

Особен интерес представлява използването на цифрови двойници (Digital Twins) при анализа на опасни кръстовища [4, 7]. Чрез създаване на виртуален модел на реалното кръстовище могат да бъдат възпроизведени неговите геометрични характеристики, транспортни потоци и специфични условия на движение. В тази цифрова среда могат да се симулират различни варианти за реконструкция, включително изграждане на кръгово кръстовище, промяна на пътната маркировка или въвеждане на нови елементи за регулиране на движението. Това позволява предварително оценяване на очакваните резултати и намалява риска от вземане на неефективни инженерни решения.

Допълнителни възможности предоставят свързаните транспортни технологии и интелигентните превозни средства [5, 10], които могат да генерират информация за скоростта на движение, траекториите на преминаване, внезапните спирания и други показатели, характеризиращи нивото на риск в конкретно кръстовище. Интегрирането на тези данни с алгоритми за изкуствен интелект позволява изграждане на детайлни модели за оценка на безопасността и подпомага процеса по избор на най-подходящото решение за реконструкция.

Развитието на интелигентните превозни средства създава нови възможности за събиране на информация относно безопасността на пътната инфраструктура. Съвременните автомобили разполагат с множество датчици, камери и системи за подпомагане на водача,

които непрекъснато регистрират характеристики на пътната среда. Натрупаните данни могат да бъдат използвани за установяване на участъци с повишен риск, оценка на видимостта, анализ на поведението на водачите и откриване на потенциално опасни кръстовища.



Фиг. 3. Предложение за реконструкция на група опасни кръстовища в единен кръгов транспортен възел

Една от най-перспективните насоки е използването на генеративен изкуствен интелект при проектирането на инфраструктурни решения. Генеративните модели могат автоматично да създават различни варианти за реконструкция на опасни кръстовища, да предлагат алтернативни геометрични конфигурации и да оценяват техния очакван ефект върху безопасността на движението. По този начин инженерът получава не само информация за съществуващия проблем, но и набор от възможни решения, генерирани въз основа на натрупаните данни и предварително зададени критерии.

Особен интерес представляват случаите, при които анализът на транспортната инфраструктура показва наличие на няколко съседни кръстовища с повишен риск от възникване на пътнотранспортни произшествия. При подобни условия системите с изкуствен интелект могат да генерират комплексни решения, обхващащи не отделно кръстовище, а цяла група взаимосвързани кръстовища. Чрез анализ на транспортните потоци, геометрията на пътната мрежа и пространствените ограничения могат да бъдат разработени варианти за изграждане на големи кръгови транспортни възли, които обединяват няколко конфликтни точки в единна организация на движението.

Представената концепция илюстрира възможностите на съвременните системи за изкуствен интелект да анализират не само отделни кръстовища, а цели участъци от градската транспортна мрежа. Подобен подход позволява намаляване на броя на конфликтните точки, подобряване на безопасността и създаване на по-ефективна организация на движението в райони с висока концентрация на транспортни потоци.

В перспектива се очаква изграждането на интелигентни системи, които автоматично да идентифицират опасни участъци от пътната мрежа, да оценяват степента на риска и да предлагат конкретни варианти за реконструкция. Комбинирането на изкуствен интелект, цифрови двойници и съвременни методи за анализ ще позволи вземането на по-точни и по-бързи инженерни решения, насочени към ограничаване на пътнотранспортния травматизъм и повишаване безопасността на движението.

7 Заключение

Изследването показва, че съвременните интелигентни транспортни системи създават нови възможности за обективно идентифициране и оценка на опасните кръстовища чрез използване на реални данни за поведението на участниците в движението. Комбинирането на видеонаблюдение, компютърно зрение, цифрово моделиране и алгоритми за изкуствен интелект позволява значително по-точно определяне на рисковите участъци в сравнение с традиционните методи, основани единствено на статистика за настъпили произшествия.

Получените резултати потвърждават, че реконструкцията на опасни кръстовища чрез изграждане на кръгови кръстовища представлява ефективно инженерно решение за ограничаване на конфликтните точки, намаляване на скоростите на движение и повишаване на общото ниво на безопасност. Използването на цифрови двойници и симулационни модели допълнително подпомага процеса по избор на оптимални инфраструктурни решения и позволява предварителна оценка на техния ефект.

Развитието на изкуствения интелект, машинното обучение и генеративните модели създава предпоставки за преминаване към ново поколение системи за управление на пътната безопасност, способни автоматично да идентифицират рискови участъци, да оценяват тяхното състояние и да предлагат конкретни варианти за реконструкция. В перспектива подобни технологии могат да се превърнат в основен инструмент за планиране и развитие на безопасна, устойчива и интелигентна транспортна инфраструктура.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Петров, Ю. Експериментално изследване влиянието на вертикалното натоварване и вътрешно налягане на гумата върху площта на контактното петно. Механика, транспорт, комуникации, № 3, 2019.

[2] Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., Bagloee, S. A. Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview. Sustainability, Vol. 11, No. 1, 2019.

[3] Austroads. Guide to Road Design Part 4B: Roundabouts. Sydney: Austroads.

[4] Batty, M. Digital Twins. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, Vol. 45, No. 5, 2018.

[5] European Commission. Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) Platform Final Report. Brussels, 2019.

[6] Federal Highway Administration. Roundabouts: An Informational Guide. Second Edition. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2010.

[7] Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access, Vol. 8, 2020.

[8] Gartner, N. H., Messer, C. J., Rathi, A. K. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report. Transportation Research Board, Washington, DC, 2001.

[9] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. MIT Press, 2016.

[10] Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., Macesanu, G. A Survey of Deep Learning Techniques for Autonomous Driving. Journal of Field Robotics, Vol. 37, No. 3, 2020.

[11] Highway Capacity Manual (HCM). Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

[12] IEEE Intelligent Transportation Systems Society. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. IEEE Publications.

[13] Institute of Transportation Engineers. Transportation Planning Handbook. 4th Edition. Wiley, 2016.

[14] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., Bieker, L. Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban Mobility. International Journal on Advances in Systems and Measurements, Vol. 5, No. 3–4, 2012.

[15] Petrov, Y. Probabilistic Assessment of Vehicle–Pedestrian Collision Risk at a Crosswalk Using the Monte Carlo Method. Black Sea Journal of Engineering and Transport, Vol. 2, 2026, pp. 8–11. ISSN 3033-2885.

[16] Petrov, Y., Staneva, L. Mathematical Modeling of Safe Vehicle–Pedestrian Distance with Interactive Visualization. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.

[17] Petrov, N., Petrov, Y. Research Regarding the Risk Assessment During Motor Vechicle Collisions between Automobiles and Pedestrians. Proceedings of the 2019 29th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE). IEEE, 2019.

[18] Petrov, Y., Staneva, L. Analysis of Braking Deceleration and the Efficiency of Automotive Braking Systems Using MATLAB. Proceedings of the International Conference on Secure Systems Design and Technology Development, Vol. 2, 2026.

[19] PIARC – World Road Association. Road Safety Manual. Paris: PIARC, 2019.

[20] Stefanova, A. Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. Proceedings of the International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering ArCivE 2025, Varna, Vol. 5, 2025, pp. 311–317, ISSN 2535-0781.

[21] Stefanova, A. A. Geodesy 4.0: Scientific and Methodological Foundations and Applications of Intelligent Technologies in Geodesy [in Bulgarian]. Sofia, 2026. ISBN 978-619-93968-0-3.

[22] Transportation Research Board. Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, DC.

[23] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety. Geneva: WHO.

[24] Zheng, Z., Ahn, S., Chen, D., Laval, J. Traffic Conflict Techniques for Road Safety Analysis: Open Questions and Some Insights. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 41, No. 7, 2014.

[25] Zhang, J., Wang, F.-Y., Wang, K., Lin, W.-H., Xu, X., Chen, C. Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 12, No. 4, 2011.

EMOTION REGULATION AND LABOUR PRODUCTIVITY IN WORK TEAM CONFLICTS*

TSVETOSLAV S. TSANKOV

ABSTRACT: *The potential consequences of workplace conflict for labour productivity in engineering and logistics teams are examined. The analysis brings together published research on rudeness, emotion regulation and health complaints, supplemented by limited observations reported by the author. Two working concepts are proposed: "blocked team contribution" and "protective communication buffer", describing difficulties in joint task performance and an agreed procedure for limiting them. A plan for subsequent evaluation is developed using indicators of information exchange, interruptions, quality and accepted work output per person-hour. Emotion regulation is considered alongside organisational conditions, while the effectiveness of the proposed measures remains a subject for future research.*

KEYWORDS: *emotion regulation, labour productivity, workplace conflict, rudeness, psychosocial risk, communication buffer*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26TSA

ЕМОЦИОНАЛНА САМОРЕГУЛАЦИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА ТРУДА ПРИ КОНФЛИКТИ В РАБОТНИЯ ЕКИП

ЦВЕТОСЛАВ С. ЦАНКОВ

АБСТРАКТ: *Разглеждат се възможните последствия от конфликтното общуване за производителността на труда в инженерни и логистични екипи. Анализът обединява публикувани изследвания за грубото отношение, емоционалната саморегулация и здравните оплаквания, допълнени с ограничени авторски наблюдения. Предлагат се работните понятия „блокиран екипен принос“ и „защитен комуникационен буфер“, които описват затруднения в съвместното изпълнение и договорен ред за ограничаването им. Разработва се план за последваща проверка чрез показатели за обмен на информация, прекъсвания, качество и приет работен резултат за вложен човекочас. Саморегулацията се разглежда съвместно с организационните условия, като ефективността на предложените мерки остава предмет на бъдещо изследване.*

1 Въведение

Производителността на труда зависи от техническите средства, компетентността и организацията на работата, но и от качеството на взаимодействието между хората. В инженерни и логистични екипи прекъснатият разговор, непредадената информация или отказът от съдействие могат да затруднят последователността на операциите. Поради това конфликтната комуникация заслужава анализ като организационен фактор, а не единствено като въпрос на лични отношения. Настоящата работа разглежда гнева като емоция и враждебната комуникация като поведение. Несъгласието не е равнозначно на агресия, а категоричността не доказва враждебност. Думата „злоба“ изразява оценка за предполагаем мотив и тук не се използва като измервана психологическа характеристика. Влиянието на изразения гняв зависи от контекста, начина на изразяване и задачата [1].

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

Целта е да се разгледа как конфликтното общуване затруднява изпълнението на общите задачи и как тези затруднения могат да се ограничат. В инженерните и логистичните дейности работата често се предава от един изпълнител на друг. Затова прекъсването на необходим разговор или забавянето на информация може да засегне няколко последователни операции. Разглежда се възможността саморегулацията, ясното разпределение на отговорностите и договорените правила за общуване да подпомогнат запазването на работния процес. Ползата от тези мерки подлежи на проверка чрез времето за изпълнение, качеството на резултата и необходимостта от поправки.

Поставянето на производителността в центъра на анализа предполага разграничаване между преживяно напрежение, поведение и измерим резултат. Човек може да изпитва гняв и въпреки това да изпълнява задачите си качествено; може също да изглежда спокоен, но да не предава необходимата информация или да не изпълнява поети ангажименти. Поради това външният емоционален израз не се приема като самостоятелен показател за трудов принос. Необходимо е да се проследи дали общуването променя условията за работа и дали тази промяна се съпровожда от забавяне, грешки или затруднено сътрудничество. Подобно разграничаване съответства на контекстуалното разглеждане на изразения гняв [1] и на разбирането за производителността като резултат от съчетаването на труда с други производствени и организационни фактори [16].

В литературата за груповите конфликти се разграничават разногласия по задачата и конфликти в отношенията. Метаанализът за тези две форми намира отрицателни връзки с екипното изпълнение и удовлетвореността, включително при конфликтите по задачата; отрицателните зависимости са по-силни при сложни задачи [13]. Това ограничава разпространеното предположение, че съдържателният спор неизменно подобрява работата. За разглежданата тема разграничението е необходимо, защото една и съща среща може да включва полезно уточняване на решение и неблагоприятно лично противопоставяне. Предлага се да се оценява не наличието на несъгласие само по себе си, а способността да се стигне до разбираема задача, приемливо решение и последващо изпълнение. Така се запазва възможността за критика, без разрушителната форма на общуване да се приема за задължителен белег на професионална взискателност.

2 Подход и граници на анализа

Подбрани са експериментални изследвания, метаанализи и институционални проучвания, които разглеждат връзките между конфликтното общуване, емоционалната саморегулация и изпълнението на работните задачи. Подборът е насочен към въпросите на настоящия анализ и не обхваща цялата литература по темата. Числовите данни се представят според цитираните източници, без да се извършва ново статистическо обобщаване. При разглеждането на отделните ситуации се различават три вида сведения: какво се случва в общуването, как се преживява случилото се и какви последствия се установяват за работата. Повишеният тон и прекъсването на събеседника могат да се опишат като действия, но сами по себе си не разкриват причината или намерението зад тях. По същия начин въпросът „къде сбърках“ показва търсене на обяснение и възможно самообвинение, но не доказва лична вина. Разказите на колеги се посочват като сведения от други лица, а не като непосредствено наблюдавани събития.

Разглеждат се словесните конфликти и възможните им последствия за изпълнението на задачите. Основата на анализа са публикувани научни резултати, допълнени с ограничени наблюдения, описани по спомен. Не са извършени собствени измервания на производителността, поради което предложените мерки се представят като възможности за

последваща проверка. При такава проверка се записват както реакциите на наблюдаваните лица, така и действията на наблюдателя, когато той участва в разговора.

Научните основания имат различен доказателствен обхват. Експериментът позволява сравнение между условия с и без зададено въздействие, но обикновено обхваща ограничена ситуация. Анкетното проучване позволява описание на разпространението сред по-широка група, но зависи от начина, по който участниците разбират и съобщават преживяното. Надлъжното наблюдение проследява последователност във времето, без автоматично да изключва всички други влияния. При метаанализа се обобщават налични резултати, но не се премахват ограниченията на включените изследвания. Затова в изложението се отделят експерименталните данни за изпълнение [2, 4], зависимостите със здравни оплаквания [5–7] и популационните описания [8]. Тяхното съчетаване служи за изграждане на аргументация, а не за превръщане на различни показатели в едно общо доказателство.

Към разглеждания проблем се отнасят и две ситуации от работното общуване, описани по спомен от автора. За първата – колективна среща, на която той не присъства – се разполага с разкази на колеги за преживяно силно напрежение. Втората ситуация се наблюдава непосредствено: заявената невъзможност за участие в следваща среща е последвана от гневна словесна реакция, която се усилва след направено предложение. Тази последователност не е достатъчна, за да се установи причината за реакцията или намерението на събеседника. След разговора остава въпросът „къде сбърках“, който насочва вниманието към продължаващото обмисляне на случилото се. В научната литература подобно повтарящо се мисловно връщане към напрегнато събитие се разглежда като възможен механизъм за задържане на стресовата реакция и след неговото приключване [15]. Оттук се поставя въпросът дали обмислянето на конфликта и очакването на нов контакт отклоняват вниманието от текущите задачи и затрудняват координацията с колегите. Описаните ситуации дават основание този въпрос да се изследва, но не доказват намалена производителност, тъй като липсват измервания на времето за работа, допуснатите грешки и изпълнените задачи.

За последваща проверка се предлага конфликтните ситуации да се описват във връзка с конкретната работа: каква задача се изпълнява, каква информация трябва да се предаде, в кой момент възниква спорът и как продължава изпълнението след него. Отчитат се установимите последствия – прекъсване на операция, забавено предаване на информация, повторно уточняване на указания или необходимост от поправка. Когато има забавяне, се проверяват и други възможни обяснения, като техническа неизправност, недостиг на материали, промяна на заданието или повишено натоварване. Така се избягва приписването на всяко затруднение на отношенията в екипа. При бъдещо доброволно изследване тези сведения могат да се съпоставят с времето за изпълнение и качеството на резултата, за да се провери дали предложените мерки за общуване подпомагат работния процес.

3 Научни основания за колективната цена на конфликта

Последствията от грубото общуване могат да засегнат и хората, които присъстват на разговора, без самите те да са обект на нападките. В експериментите на Porath и Erez се установява влошено изпълнение на рутинни и творчески задачи при свидетели на грубо отношение [2]. Изследването на Barsade показва, че емоционалното състояние, изразено от един член на групата, може да повлияе върху останалите и върху начина, по който работят заедно [3]. Допълнителни данни се получават от рандомизирано изследване с 24 неонатологични екипа, които изпълняват задачи в медицинска симулация. При екипите, изложени на груби коментари, се установяват по-ниски оценки за диагностичното и

процедурното изпълнение, като споделянето на информация и търсенето на помощ се открояват като механизми, свързани с този резултат [4]. За инженерните и логистичните дейности тези изследвания поставят практически въпрос: дали напрегнатото общуване затруднява обмена на необходимите сведения и съгласуването на последователните операции. Такава връзка подлежи на проверка в съответната работна среда; от посочените експерименти не може да се изведе общ процент на загубена производителност.

Конфликтното общуване може да затрудни работата както чрез отклоняване на вниманието, така и чрез нарушаване на взаимодействието между изпълнителите. В първия случай обмислянето на разговора и очакването на ново напрежение могат да отнемат внимание от текущата задача [15]. Във втория се затрудняват обменът на информация и търсенето на съдействие, чието значение за екипното изпълнение се показва в експериментални условия [4]. За описване на възможното разминаване между наличните знания и умения на служителя и действителния му принос към общата задача се предлага работното понятие „блокиран екипен принос“. То обозначава временно затруднение в използването на професионалните възможности в конкретно взаимодействие, а не трайна характеристика на човека или медицинско състояние. В инженерния работен процес такова затруднение може да се търси при забавено предаване на указания, неуточнено решение или прекъснато съгласуване между последователни операции. Тези признаци обаче не са специфични за конфликт: необходимо е да се проверят и условията на работа, наличните ресурси, яснотата на заданието и подготовката на изпълнителите.

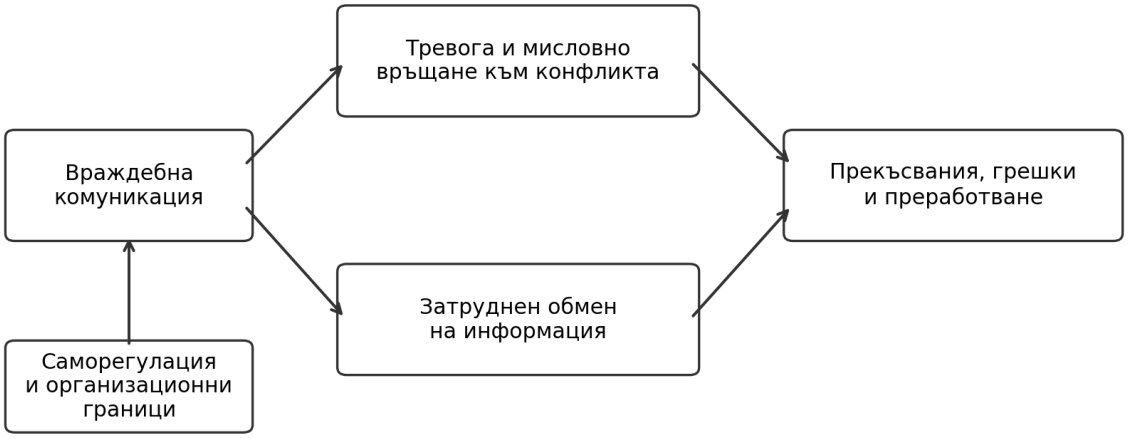
Изразяването на гняв може да служи и за оказване на натиск върху събеседника. В експерименти с преговори Van Kleef, De Dreu и Manstead установяват, че при определени условия участниците правят по-големи отстъпки пред партньор, който изразява гняв, отколкото пред партньор, който показва положителна емоция [17]. Този резултат допуска възможността гневното поведение да се използва целенасочено за налагане на позиция, но не позволява намерението да се установи само по повишения тон. Значение има и възприеманата искреност на изразената емоция. Изследването на Côté, Hideg и Van Kleef показва, че престореният гняв може да намали доверието и да доведе до по-високи искания от другата страна [18]. При работния екип следва да се различават постигането на отстъпка и постигането на полезен производствен резултат: приемането на нечие мнение само по себе си не доказва по-добро решение, по-кратко време за изпълнение или по-високо качество. Затова възможното използване на гняв като средство за влияние се разглежда отделно от неговите последствия за общата работа.

За ограничаване на възможното влияние на емоционалния натиск се предлага обсъждането да се връща към предварително определени изисквания за задачата. В инженерните и логистичните дейности предложенията могат да се сравняват по техническа изпълнимост, необходим ресурс, срок, безопасност и качество на очаквания резултат. При възникнал спор се уточнява по кое изискване има несъгласие и какви данни са необходими за решаването му. Саморегулацията се разглежда тук като способност да се запази обсъждането на тези основания въпреки напрежението в разговора. Тя не предполага автоматично отстъпване или приемане на чуждото мнение. Предложената организация на обсъждането подлежи на проверка чрез времето за вземане на решение, последващите промени в заданието и качеството на изпълнението.

При оценката на последствията за екипа се отчита кой участва в конфликта, кой присъства на него и кой научава за случилото се по-късно. Тези обстоятелства не са равнозначни. Прекият участник е въвлечен в противопоставянето, свидетелят наблюдава разговора, а останалите получават разказ, който включва и чужда оценка на събитието.

Експерименталните данни за влошено изпълнение при свидетели на грубо отношение [2] не доказват същото въздействие при хората, които само чуват за него. Затова при бъдещо изследване резултатите на трите групи се проследяват отделно, като се отчита и зависимостта между техните задачи. Възможно е служител, който не присъства на конфликта, да срещне работно затруднение поради забавена информация или незавършена предходна операция. Това е предложен за проверка организационен механизъм, който се различава от непосредственото емоционално въздействие на разговора.

Когато задачите се изпълняват последователно от различни служители, за общия резултат има значение както завършването на отделната операция, така и своевременното предаване на необходимата информация. Например приключването на техническа проверка не позволява следващата операция да започне, ако резултатът от проверката не е предоставен на отговорния изпълнител. В подобен случай индивидуалната задача може да е отчетена като завършена, докато общата работа остава забавена. Затова се предлага при оценката на екипния принос да се проследяват времето между приключването и предаването на задачата, пълнотата на предадените сведения и необходимостта от допълнителни уточнения. Експерименталното изследване на Riskin и съавтори показва значението на информационния обмен и търсенето на помощ при изпълнение в условия на грубо общуване [4]. Посоченият пример с техническата проверка и предложените показатели разширяват въпроса към инженерния работен процес, но връзката им с конфликтите подлежи на самостоятелна проверка.



Фиг. 1. Предложен модел на връзките между конфликтното общуване, затрудненията в работния процес и саморегулацията. Авторска разработка с теоретични основания от [2–4, 10, 11, 15]. Стрелките обозначават предполагаеми зависимости, които подлежат на проверка.

Моделът за изискванията и ресурсите на труда на Bakker и Demerouti позволява работната среда да се разглежда чрез две свързани страни: условията, които изискват продължително усилие, и ресурсите, които подпомагат изпълнението и ограничават натоварването [14]. Към първата страна се отнасят например големият обем работа и кратките срокове, а към втората – подкрепата от колеги и възможността за самостоятелни решения [14]. В настоящия анализ се предлага конфликтното общуване да се разглежда като допълнително натоварване, когато наред със задачата се налага овладяване на

напрежението и възстановяване на прекъснатото взаимодействие. Ясните отговорности, достъпната информация и договореният ред за разрешаване на спорове се разглеждат като възможни средства за ограничаване на това натоварване. От тази постановка следва, че самоконтролът се предлага като част от организацията на работата, заедно с реалистични срокове и осигурено съдействие. Дали това съчетание подобрява производителността, подлежи на проверка в конкретния екип.

4 Здравни оплаквания и демографски различия

Метаанализът на Verkuil, Atasayi и Molendijk установява статистически връзки между тормоза на работното място и симптомите на депресия, тревожност и стрес. Включените изследвания, които измерват тормоза и симптомите в един и същ момент, обхващат общо 115 783 участници. При проучванията с проследяване във времето се установяват връзки и в двете посоки: преживеният тормоз е свързан с последващи психични оплаквания, а предходните оплаквания – с последващо съобщаване за тормоз [5]. Това усложнява причинното обяснение и не позволява всички симптоми да се отдадат единствено на отношенията в работата. В разглежданата литература тормозът се отнася до повтарящо се отрицателно отношение, а не до всяко отделно несъгласие или напрегнат разговор [5]. Посочените резултати дават основание здравните оплаквания да се вземат предвид при анализа на работната среда, но не установяват диагноза при конкретен служител и не измерват пряко намалението на неговата производителност.

Таблица 1. Публикувани връзки със здравни оплаквания

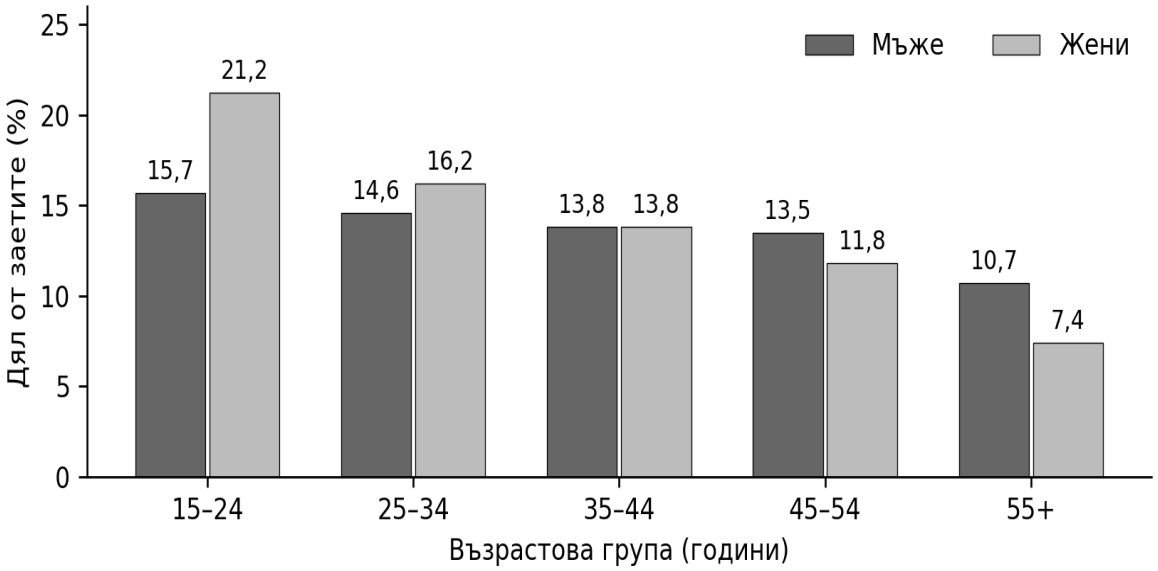
Резултат	Показател	Основание и ограничение
Депресивни симптоми	r = 0,28; 95% ДИ 0,23–0,34	Напречни данни за тормоз [5]
Тревожни симптоми	r = 0,34; 95% ДИ 0,29–0,40	Корелация, не индивидуална диагноза [5]
Стресови оплаквания	r = 0,37; 95% ДИ 0,30–0,44	Самоотчетни данни [5]
Проблеми със съня	OR = 2,31 при изследвания с измерване в един момент; OR = 1,62 при изследвания с проследяване във времето	Метаанализ; ниско до умерено качество на доказателствата [6]
Главоболие	OR = 3,94; 95% ДИ 1,36–11,42	Тормоз/преследване; 3-годишно проследяване [7]

Източници: [5–7]. r е коефициент на корелация, който описва посоката и силата на статистическата връзка между два показателя. OR е отношение на шансовете за разглеждания резултат между сравняваните групи; стойност над 1 означава по-високи шансове в групата, поставена в числителя. ДИ е доверителен интервал. Корелацията и отношението на шансовете са различни мерки и не се сравняват пряко. Стойностите в таблицата не показват процент загубена производителност.

Главоболието е сред оплакванията, чиито връзки с условията на труд се изследват. В проучването на Tynes, Johannessen и Sterud се установяват статистически зависимости между главоболието и фактори като тормоз на работното място, противоречиви изисквания към служителя и неблагоприятни отношения в работната среда [7]. Противоречивите изисквания, обозначавани като „ролеви конфликт“, възникват например когато изпълнението на едно служебно изискване затруднява спазването на друго. Посочените зависимости не установяват причината за главоболието при отделния човек. При оценката на последствията за работата се разграничават съобщеното оплакване, установеното от медицински специалист състояние и отсъствието по болест. Отделно се проследява дали има конкретно затруднение при изпълнението на задачите, тъй като наличието на симптом само по себе си не показва размера на евентуалната загуба на производителност.

Приключването на напрегнатия разговор не означава непременно край на свързаното с него преживяване. Повтарящото се връщане към случилото се, тревогата за неговите последствия и очакването на нов конфликт могат да поддържат стресовата реакция и извън непосредствения контакт. Този механизъм се разглежда в хипотезата за персеверативната когниция на Brosschot, Gerin и Thayer [15]. За анализа на трудовата дейност се поставя въпросът дали подобно занимаване с конфликта затруднява започването на задача, съсредоточаването върху нея или нейното довършване. Същевременно обмислянето може да бъде полезно, когато води до изясняване на проблема и избор на действие. Затова при бъдещо проследяване се предлага да се различават размишлението, което помага за намиране на решение, и повтарящото се самообвинение, което не води до такова. Разграничението се търси чрез описаното съдържание на мислите, времето, което заемат, и установимите последствия за работата, без само по себе си да служи за поставяне на диагноза.

При проследяване на здравните оплаквания се отчита кога възникват, колко често се повтарят и дали съвпадат с определени работни ситуации. Изследванията за съня и главоболието дават основание тези оплаквания да се включат в анализа на работната среда [6, 7]. За проверката на предложените мерки се предвижда отделно проследяване на състоянието на служителя и на изпълнението на задачите. Намаляването на съобщеното напрежение не е достатъчно доказателство за повишена производителност, както и спазването на срока не показва непременно липса на здравни затруднения. Поради това сведенията за оплакванията се съпоставят с работните показатели, като се отчитат и други възможни влияния – предходни здравни състояния, промени в натоварването и обстоятелства извън работата.



Фиг. 2. Заети, преживели психологическо насилие и тормоз през предходните пет години, по пол и възраст (%). Авторско пречертаване по [8], фиг. 2.2, с. 30; World Risk Poll 2021. Данните са глобални, не само за България.

Различията по възраст и пол се представят чрез международното проучване за насилието и тормоза на работното място, публикувано от Международната организация на

труда, Lloyd's Register Foundation и Gallup [8]. Фигура 2 показва дела на заетите мъже и жени в съответните възрастови групи, които съобщават за преживяно психологическо насилие и тормоз през предходните пет години. Следователно диаграмата описва разпространението на съобщените преживявания сред засегнатите лица. Тя не показва възрастта и пола на извършителите и не позволява извод кои групи проявяват повече гняв или агресия. Данните са събрани през 2021 г. и дават основание за сравнение между групите, но за установяване на зачестяване са необходими съпоставими измервания от различни години. Резултатите са международни и не се приемат като отделна оценка за българската работна среда [8].

Наред с условията на труд при индивидуална оценка могат да се отчитат здравни и жизнени промени, които засягат съня и настроението. Един такъв контекст е менопаузалният преход, при който част от жените изпитват нарушения на съня, тревожност или промени в настроението. Според Световната здравна организация естествената менопауза обикновено настъпва между 45 и 55 години [9]. Тези сведения не установяват причина за гневно поведение при конкретен човек. Възрастта и полът сами по себе си не позволяват подобно обяснение; както при жените, така и при мъжете са необходими индивидуални сведения за състоянието и обстоятелствата.

При бъдещо изследване се предлага възрастта и полът да се разглеждат заедно с професионалната роля, характера на задачите и условията на общуване. Отчита се например дали служителят разпределя работа, изпълнява указания или координира последователни операции, както и дали контактът възниква при обичайно натоварване или при кратки срокове. Така се проверява дали установените различия са свързани с организацията на труда, вместо предварително да се обясняват с демографските характеристики. При малък екип резултатите се представят обобщено, без съчетания от лични и служебни сведения, които позволяват разпознаване на отделния участник.

Оплакванията, които служителите споделят за преживяно отношение, се разграничават от оплакванията срещу тяхното поведение. Международното проучване представя сведения от първия вид: участниците съобщават какво преживяват на работното място [8]. За разглеждането на оплакване срещу конкретен служител са необходими описания на действията и обстоятелствата, като се отчита гледната точка на всяка страна. В бъдещото изследване се предлага доброволно споделените преживявания да се съпоставят с документирани последствия за задачите – прекъсвания, забавяния и необходимост от повторна работа. Съответствието или разминаването между тези сведения се анализира, без предварително да се приема, че едното доказва или обезсилва другото. Събират се само данните, необходими за поставения изследователски въпрос.

5 Саморегулация и защитен комуникационен буфер

В изследванията на Gross и John се разграничават два начина за регулиране на емоциите: промяна на начина, по който се разбира ситуацията, и сдържане на външното изразяване на вече възникналата емоция. Първият подход, наречен когнитивна преоценка, се свързва с по-благоприятни показатели за отношенията с другите и личното благополучие [10]. За настоящия анализ самоконтролът се разглежда като обмислен избор на действие при напрежение: проверка на собственото разбиране за случилото се, отлагане на прибързания отговор и ясно заявяване на допустимите условия за разговор. Допълнителна подкрепа за успокояващите подходи дава метаанализът на Kjærvik и Bushman, който обхваща 154 изследвания, 184 независими извадки и 10 189 участници. При дейностите, насочени към понижаване на възбудата, се установява среден стандартизиран ефект за

намаляване на гнева и агресията: g = −0,63, при 95% доверителен интервал от −0,82 до −0,43 [11]. Тази стойност позволява обобщаване на резултати, измерени с различни скали; тя не означава намаление с 63% и не измерва производителността на труда. Данните подкрепят включването на успокояващи стратегии в предложените мерки, а ползата им за изпълнението на работните задачи остава отделен въпрос за проверка.

За организацията на общуването при нарастващо напрежение се предлага работното понятие „защитен комуникационен буфер“. С него се обозначава предварително договорен ред за временно прекъсване на спорния разговор, запазване на необходимата работна информация и възобновяване на обсъждането при ясни условия. Буферът може да включва кратка пауза, писмено уточняване на спорния въпрос или съдействие от определено отговорно лице. При прекъсване се уточняват срокът за продължаване, отговорността за текущата задача и сведенията, които трябва да се предадат, за да не се забавят следващите операции. Предложението съчетава личната саморегулация с правила за екипна работа и отговорност на ръководството. От всеки участник се очаква спазване на договорените условия; овладяването на реакцията от едната страна не освобождава другата от отговорност за поведението ѝ. Ефективността на този ред подлежи на проверка чрез продължителността на прекъсванията, повторното възникване на спорове и изпълнението на задачите.

При оценката на саморегулацията се разглеждат конкретните действия и тяхното отношение към работната цел. Проследява се дали участникът изслушва уточнението, формулира несъгласието си по същество и изпълнява договореното след разговора. Спокойният тон сам по себе си не е достатъчен показател: изказването може да съдържа обиди или заплахи и когато е произнесено без повишаване на гласа. Изследванията на Gross и John дават основание да се различават регулирането на преживяваната емоция и сдържането на нейния външен израз [10]. За работния процес се предлага към това разграничение да се добави проследяване на постигнатото решение и последващото изпълнение. Така се проверява дали избраният начин на реагиране подпомага уточняването на задачата, предаването на необходимата информация и завършването на работата.

Прилагането на предложения ред започва с подготовката на работното обсъждане. Предварително се уточняват въпросът за решаване, необходимите сведения и участниците, от които зависи изпълнението. По време на разговора се различава несъгласието с техническото решение от затрудненията в разпределението на работата, сроковете или отговорностите. Това позволява спорът да се насочи към конкретно изискване, вместо да се разширява към лични оценки. При избора на начин за продължаване се отчита и неговата възможна цена за задачата: паузата може да забави необходимото решение, писменото уточнение може да остане неразбрано, а включването на посредник изисква допълнително време. Затова при проверката се проследява дали мярката намалява напрежението и едновременно позволява работата да продължи в приемлив срок. Предложените действия се адаптират към конкретния процес и се оценяват по действителните им последствия.

В предложената организация на общуването всеки участник носи отговорност за начина, по който изразява несъгласие и изпълнява договорените действия. На ръководството се възлага осигуряването на ясни правила, последователното им прилагане и възможността затрудненията да се разглеждат безпристрастно. При повтарящи се конфликти се проверява дали има неясно разпределени задачи, противоречиви указания или нерешени въпроси между изпълнителите. Когато са необходими специализирани знания за емоционалните затруднения, се предлага доброволна консултация с квалифициран специалист. Тя допълва организационните мерки, без да замества отговорността за спазване

на работните правила. Целта е да се осигурят условия както за подкрепа на служителя, така и за надеждно изпълнение на общите задачи.

Таблица 2. Авторски модел на защитния комуникационен буфер

Етап	Предложено действие	Проверим работен резултат
Разпознаване	Описване на прекъсване, повишен тон и лична нападка без диагнози	Брой прекъсвания и отклонения от задачата
Саморегулация	Пауза, успокояване, преоценка и спокойно поставяне на граница	Продължителност на прекъсването
Организиране на контакта	Дневен ред, писмено уточняване, посредник при необходимост	Яснота на задача, срок и отговорност
Възстановяване	Потвърждаване на договореното и връщане към работата	Време до подновяване и завършване
Преглед	Съпоставка на работни резултати и доброволни оценки	Дял на работните единици с грешки, човекочасове за поправки и приети работни единици за човекочас

Източник: авторска разработка с теоретични основания от [2, 4, 10, 11]. Таблицата представя предложени организационни действия и показатели за тяхната оценка. Ефективността на съчетаните мерки не е проверена в собствено изследване.

При силно напрежение се предлага временно ограничаване на непосредствения контакт, като се запазва възможността за предаване на необходимата работна информация. Уточняват се начинът на общуване, отговорното лице и моментът за преразглеждане на тази организация, така че прекъсването на разговора да не оставя задачата без изпълнител или решение. Прекият контакт се възобновява при условия, които позволяват изслушване и обсъждане без заплахи и обиди. Значение има и психологическата безопасност, която Edmondson определя като споделено убеждение в екипа, че могат да се поемат междуличностни рискове – например да се зададе въпрос, да се признае грешка или да се изрази несъгласие [12]. В предложения модел временната дистанция се оценява според това дали подпомага възстановяването на такова общуване и продължаването на работата.

Възстановяването на работното общуване се проследява чрез конкретни действия: участниците могат да довършат изказването си, да поискат уточнение и да обсъдят различията по задачата. Не е необходимо всяко напрежение да изчезне, но е необходимо несъгласието да позволява вземане и изпълнение на решение. Липсата на открит спор сама по себе си не показва подобрение, ако важен въпрос остава неизяснен или необходимата информация не достига до изпълнителя. Затова след разговора се проверява дали има общо разбиране за следващата стъпка, определена отговорност и срок. При последващото проследяване се отчита дали договореното се изпълнява и дали същото затруднение възниква отново. Тези показатели се предлагат като практическа проверка на работното взаимодействие, без да се използват за оценяване на психичното състояние на участниците.

6 Измерване на производителността и бъдеща проверка

За да се провери дали предложените мерки подпомагат производителността, предварително се определят задачите, очакваното качество и начинът за отчитане на вложения труд. Оценката се насочва към изпълнението: какъв резултат се получава, за колко време и с каква необходимост от поправки. При установено влошаване се разглеждат както отношенията в екипа, така и сложността на задачата, наличните ресурси и промените в натоварването. Сравняват се задачи и периоди с достатъчно сходни условия, като съществените различия се описват. Така се търси проверима връзка между начина на

общуване и работния резултат, без ниската производителност предварително да се обяснява с нежелание за работа, липса на способности или психично разстройство.

Производителността на труда се оценява чрез съотношението между получения работен резултат и вложения труд [16]. За еднородни задачи се предлага показателят P = Q / H, където Q е броят завършени и приети работни единици, които покриват предварително определените изисквания за качество, а H е общото време за тяхното изпълнение в човекочасове. В това време се включва и трудът за необходимите поправки, независимо кой член на екипа ги извършва. Получената стойност показва броя приети работни единици за един човекочас. При задачи с различна сложност резултатите се сравняват по отделни групи; обединяване чрез тежести се допуска само при предварително обоснован начин за тяхното определяне. По този начин увеличаването на броя отчетени задачи се оценява заедно с качеството и действително вложения труд.

За обяснение на промените в производителността се предлагат и допълнителни показатели: делът на задачите, завършени в срок, времето за поправки, делът на работните единици с установени грешки и времето до подновяване на прекъснатата работа. Сроковете показват надеждността на изпълнението, а грешките и поправките – затрудненията при постигане на изискваното качество. Времето до подновяване се отчита отделно, защото бързото връщане към задачата не гарантира възстановяване на предходния темп или точност. При последователни операции се проследява и времето от готовността на резултата до предоставянето му на следващия изпълнител. Показателите се разглеждат съвместно, за да се установи къде възниква затруднението и дали предложената мярка го ограничава.

При прилагането на показателя предварително се уточняват единицата за работен резултат, изискванията за приемане и начинът за отчитане на времето. Според дейността работната единица може да бъде проверен и приет технически документ, обработен детайл, отговарящ на изискванията за качество, или изпълнена и приета доставка. Сравняват се резултати от един и същ вид и със сходна сложност. Определя се кой проверява качеството и как се записва трудът на всички участници. При съвместно изпълнение резултатът се отчита веднъж, а вложените човекочасове се сумират. Например един час работа на двама служители представлява два човекочаса. Тези правила се запазват еднакви през сравняваните периоди, за да не се получи привидна промяна в производителността вследствие на различно отчитане.

При обработване на еднородни технически заявки може да се отчита броят на окончателно приетите заявки спрямо общото време за изпълнение, включително необходимите поправки. Делът на заявките, приети още при първата проверка, се проследява отделно като показател за качеството на първоначалното изпълнение. При сложен инженерно-технически проект се разглеждат отделните етапи и предварително определените резултати за всеки от тях, тъй като броят на изготвените документи сам по себе си не отчита тяхната сложност и съответствие с изискванията. Тези примери пояснявят предложения начин за измерване и не представляват собствени наблюдавани резултати. Показателите и правилата за отчитане се определят преди събирането на данните, за да се запази последователността на оценката независимо дали резултатите подкрепят поставените хипотези.

При проследяването се различават времето, през което задачата е прекъсната, и периодът след подновяването, през който изпълнението остава затруднено. Краят на прекъсването се отбелязва при действителното връщане към задачата. Възстановяването на работния ритъм се оценява само когато има предварително определени показатели за

обичайния темп и качество при сходни условия. Съобщената продължителност на тревогата се записва отделно и не се прибавя към работното време, тъй като тревогата може да продължава и по време на изпълнението. Разговорът също не се отчита изцяло като загуба: уточняването на изискванията и разрешаването на несъгласие могат да бъдат необходима част от работата. Евентуалното допълнително време се оценява чрез сравнение със сходни задачи и установения ред за изпълнение. Когато липсва надеждна основа за сравнение, се описват прекъсването и последвалите затруднения, без да се изчислява недоказана загуба.

За проверка се предлага проследяване на доброволно участващи екипи през начален период с обичайния ред на работа и през последващ период с въведени правила за защитния комуникационен буфер. Показателите се измерват многократно, а при възможност се включва екип със сходни задачи, при който през същия период не се въвежда промяна. Отчитат се натоварването, сложността на задачите, съставът на екипа и сроковете, тъй като те също могат да повлияят върху резултатите. Формулират се три хипотези: H1 – регистрираните враждебни словесни взаимодействия се свързват с повече прекъсвания и труд за поправки; H2 – прилагането на буфера се свързва с по-кратко време до подновяване на задачата; H3 – подобрението в саморегулацията се свързва с повишена производителност при съпоставими условия и запазени изисквания за качество. Преди събирането на данните се определят начинът за измерване на саморегулацията, необходимият брой участници и планът за анализ. Само подобрение след въвеждането на мерките не е достатъчно, за да се докаже, че те го причиняват. В настоящия доклад хипотезите се предлагат за бъдеща проверка, без да се представят като установени резултати.

В изследователския дневник се записват контекстът на задачата, наблюдаваните действия и установимите последствия за изпълнението. Отделно се отбелязват споделените преживявания и сведенията от лица, които разказват за събитието. Когато наблюдателят участва в разговора, се описват и неговите изказвания и действия, тъй като те могат да повлияят върху взаимодействието. Записът се прави възможно най-скоро след случилото се, а неизвестните обстоятелства се обозначават като липсваща информация. Бъдещото изследване се провежда с информирано доброволно участие, предварителна етична оценка и защита на личните сведения. Участието може да се прекрати без неблагоприятни последствия, като предварително се определят и условията за спиране при риск. Дневникът служи за анализ на общуването и работните резултати, без да се използва за поставяне на клинични диагнози.

Единица на проследяване се предлага да бъде конкретната работна задача с нейните срокове, участници и условия за приемане. За нея се записват необходимият обмен на информация, възникналите конфликтни разговори и промените в изпълнението. Едновременно се отчитат броят на текущите задачи, тяхната сложност и наличните технически затруднения. Това позволява да се проверява дали забавянето съвпада с конфликтното общуване, с повишено натоварване или с друго препятствие. Когато няколко условия се променят едновременно, приносът на всяко от тях остава несигурен без допълнителни сравнения. Поради това планът за анализ предварително включва тези възможни влияния, а изводите се ограничават до зависимостите, които данните позволяват да се установят.

Ефективността на предложените мерки се оценява чрез предварително избраните показатели за време, качество и производителност, допълнени с оценките на участниците за общуването. Намаляването на напрежението се разглежда заедно с изпълнението на задачите: възможно е разговорите да станат по-спокойни, без сроковете или качеството да се подобрят. Проследяват се и възможни неблагоприятни последствия, като увеличено

време за писмени уточнения, отлагане на необходими решения или съмнения в безпристрастността на посредника. Резултатите се представят независимо дали подкрепят хипотезите. Ако се установи необходимост от промяна на правилата, измененията се описват и проверяват отделно. Положителният резултат в един екип дава основание за последващо изследване, но приложимостта в други работни среди изисква допълнителна проверка.

За ограничаване на влиянието на предварителните очаквания се предлага качеството на работните резултати да се проверява, когато е възможно, от оценител, който не знае дали са получени преди или след въвеждането на мерките. На оценителя се предоставят необходимите технически сведения и еднакви критерии за приемане, без оценките на участниците за преживяното напрежение. Ако подобно разделяне е неприложимо, това се посочва като ограничение на изследването. Саморегулацията, здравните оплаквания и производителността се анализират отделно, след което се проверяват връзките между тях. Подобрението на един показател не се приема като доказателство за подобрение на останалите. Изводите се основават на получените резултати, включително когато не се установява очакваната полза от предложените мерки.

7 Заключение

Разгледаните изследвания показват, че грубото общуване може да влоши изпълнението както на непосредствените участници, така и на свидетелите, а обменът на информация и търсенето на съдействие имат значение за екипния резултат [2–4]. Изследванията на емоционалната регулация и успокояващите подходи дават основание саморегулацията да се включи сред мерките за ограничаване на напрежението [10, 11]. На тази основа се предлагат понятията „блокиран екипен принос“ и „защитен комуникационен буфер“, чрез които се описват възможно затруднение в съвместната работа и организационен ред за неговото ограничаване. Приносът на разработката се състои в свързването на този ред с конкретни показатели за прекъсвания, предаване на информация, качество и производителност. За инженерните и логистичните дейности се предлага проверката да обхваща последователните операции и общия вложен труд. Ефективността на модела остава въпрос за бъдещо изследване при предварително определени условия и критерии.

Практическото приложение на предложението изисква самоконтролът да се съчетава с ясни задачи, осигурени ресурси и последователни правила за общуване. Ползата му се търси в способността да се изрази несъгласие по същество, да се запази необходимият обмен на информация и да се изпълни договореното действие. При оценката се отчитат едновременно условията за уважително общуване и приносът към общия резултат. Намаляването на напрежението е важно, но за извод относно производителността са необходими данни за приетите работни единици, качеството и вложените човекочасове. По тези показатели се проверява дали съчетаването на саморегулация и организационни мерки действително подпомага работата на екипа.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Miron-Spektor E., Rafaeli A. The effects of anger in the workplace: When, where, and why observing anger enhances or hinders performance. Research in Personnel and Human Resources Management, 28, 2009. DOI: 10.1108/S0742-7301(2009)0000028007.

[2] Porath C. L., Erez A. Overlooked but not untouched: How rudeness reduces onlookers' performance on routine and creative tasks. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 109(1), 2009, 29–44. DOI: 10.1016/j.obhdp.2009.01.003.

[3] Barsade S. G. The Ripple Effect: Emotional Contagion and Its Influence on Group Behavior. Administrative Science Quarterly, 47(4), 2002, 644–675. DOI: 10.2307/3094912.

[4] Riskin A., Erez A., Foulk T. A., et al. The Impact of Rudeness on Medical Team Performance: A Randomized Trial. Pediatrics, 136(3), 2015, 487–495. DOI: 10.1542/peds.2015-1385.

[5] Verkuil B., Atasayi S., Molendijk M. L. Workplace Bullying and Mental Health: A Meta-Analysis on Cross-Sectional and Longitudinal Data. PLOS ONE, 10(8), 2015, e0135225. DOI: 10.1371/journal.pone.0135225.

[6] Nielsen M. B., Harris A., Pallesen S., Einarsen S. V. Workplace bullying and sleep – A systematic review and meta-analysis of the research literature. Sleep Medicine Reviews, 51, 2020, 101289. DOI: 10.1016/j.smrv.2020.101289.

[7] Tynes T., Johannessen H. A., Sterud T. Work-related psychosocial and organizational risk factors for headache: a 3-year follow-up study of the general working population in Norway. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 55(12), 2013, 1436–1442. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3182a7e678.

[8] International Labour Organization, Lloyd's Register Foundation, Gallup. Experiences of violence and harassment at work: A global first survey. Geneva: ILO, 2022, fig. 2.2, p. 30. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/documents/publication/wcms_863095.pdf (достъп 13.10.2026).

[9] World Health Organization. Menopause. Fact sheet, 16 October 2024. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/menopause (достъп 13.10.2026).

[10] Gross J. J., John O. P. Individual differences in two emotion regulation processes: implications for affect, relationships, and well-being. Journal of Personality and Social Psychology, 85(2), 2003, 348–362. DOI: 10.1037/0022-3514.85.2.348.

[11] Kjærvik S. L., Bushman B. J. A meta-analytic review of anger management activities that increase or decrease arousal: What fuels or douses rage? Clinical Psychology Review, 109, 2024, 102414. DOI: 10.1016/j.cpr.2024.102414.

[12] Edmondson A. Psychological Safety and Learning Behavior in Work Teams. Administrative Science Quarterly, 44(2), 1999, 350–383. DOI: 10.2307/2666999.

[13] De Dreu C. K. W., Weingart L. R. Task versus relationship conflict, team performance, and team member satisfaction: A meta-analysis. Journal of Applied Psychology, 88(4), 2003, 741–749. DOI: 10.1037/0021-9010.88.4.741.

[14] Bakker A. B., Demerouti E. The Job Demands-Resources model: state of the art. Journal of Managerial Psychology, 22(3), 2007, 309–328. DOI: 10.1108/02683940710733115.

[15] Brosschot J. F., Gerin W., Thayer J. F. The perseverative cognition hypothesis: A review of worry, prolonged stress-related physiological activation, and health. Journal of Psychosomatic Research, 60(2), 2006, 113–124. DOI: 10.1016/j.jpsychores.2005.06.074.

[16] OECD. Labour productivity and utilisation. https://www.oecd.org/en/data/indicators/labour-productivity-and-utilisation.html (достъп 13.10.2026).

[17] Van Kleef G. A., De Dreu C. K. W., Manstead A. S. R. The interpersonal effects of anger and happiness in negotiations. Journal of Personality and Social Psychology, 86(1), 2004, 57–76. DOI: 10.1037/0022-3514.86.1.57.

[18] Côté S., Hideg I., Van Kleef G. A. The consequences of faking anger in negotiations. Journal of Experimental Social Psychology, 49(3), 2013, 453–463. DOI: 10.1016/j.jesp.2012.12.015.

OPTIMIZATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A CONTROL SYSTEM FOR AN AUTOMATED PRODUCTION PROCESS*

VALENTIN G. ZHELYAZKOV, AYKUT A. REMZIEV

ABSTRACT: *The quality of automated production processes depends directly on the dynamic properties of the automatic control systems that maintain the process variables. This paper considers the problem of optimizing the dynamic characteristics of a single-loop system with a PID controller and a plant described as a first-order lag with dead time. The quality indicators of the transient response and the integral criteria IAE, ISE and ITAE are summarized, together with the empirical, analytical and numerical methods for controller tuning. The Ziegler–Nichols tuning, the Chien–Hrones–Reswick tuning and a tuning obtained by numerical minimization of the ITAE criterion are compared by simulation. The optimal tuning reduces the settling time from 19.6 s to 8.6 s and the overshoot from 64.5 % to 3.1 %. Load disturbance rejection and robustness to ±20 % variation of the plant parameters are also studied, showing that the choice of criterion must take into account the dominant operating mode of the process.*

KEYWORDS: *automatic control system, dynamic characteristics, PID controller, integral criteria, ITAE, parametric optimization*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26VAR

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ДИНАМИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАН ПРОИЗВОДСТВЕН ПРОЦЕС

ВАЛЕНТИН Г. ЖЕЛЯЗКОВ, АЙКУТ А. РЕМЗИЕВ

АБСТРАКТ: *Качеството на автоматизираните производствени процеси зависи пряко от динамичните свойства на системите за автоматично регулиране, които поддържат технологичните параметри. В доклада е разгледана задачата за оптимизация на динамичните характеристики на едноконтурна система с ПИД регулатор и обект, описан с апериодично звено от първи ред с транспортно закъснение. Систематизирани са показателите на качеството на преходния процес и интегралните критерии IAE, ISE и ITAE, както и емпиричните, аналитичните и числените методи за настройка на регулатора. Чрез симулация са сравнени настройките по Зиглер–Никълс, по Чиен–Хронес–Ресуик и настройка, получена чрез числена минимизация на критерия ITAE. Оптималната настройка намалява времето за регулиране от 19,6 s на 8,6 s и пререгулирането от 64,5 % на 3,1 %. Изследвани са още отработването на смущения и робастността при ±20 % изменение на параметрите на обекта и е показано, че изборът на критерий трябва да отчита преобладаващия режим на работа на процеса.*

1 Въведение

Автоматизираните производствени процеси са основа на съвременната промишленост – от машиностроенето и металообработването до химическата, хранителната и енергийната индустрия. В тях системите за автоматично регулиране (САР) поддържат в зададени граници технологични параметри като температура, налягане, дебит, ниво, скорост и

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

положение, въпреки действието на смущения и промените в режима на работа [1], [2]. От качеството на регулиране зависят точността на изделията, разходът на енергия и суровини, процентът брак и ресурсът на оборудването.

Проектирането на САР протича на два етапа [3]. На първия етап се избират обектът, измервателните устройства, усилвателите и изпълнителните органи така, че да се осигури желаният установен режим. На втория етап се проверява дали системата има нужните динамични свойства. Често се оказва, че системата е устойчива, но преходният процес е твърде бавен, с голямо динамично отклонение или с много колебания. Тогава е необходима корекция – въвеждане на регулатор с подходящ закон и, което е не по-малко важно, оптимална настройка на неговите параметри.

Най-широко разпространен в промишлеността е ПИД регулаторът – по данни от литературата над 90 % от регулиращите контури в процесната индустрия използват ПИ или ПИД закон [4], [5]. Въпреки това значителна част от тях работят с настройки по подразбиране или с настройки по емпирични формули, които не осигуряват оптимално поведение. Програмируемите логически контролери и средите за моделиране (MATLAB/Simulink, LabVIEW, Python) правят възможно настройките да се търсят числено по избран критерий за качество [2], [6], [7].

Целта на доклада е да представи методите за оптимизация на динамичните характеристики на САР и чрез симулационно изследване да сравни класическите емпирични настройки с настройка, оптимална по интегрален критерий, като се оценят и отработването на смущения и робастността на получените решения.

2 Динамични характеристики и показатели на качеството

Динамичните свойства на една САР се описват с предавателната функция $W(s)$, с преходната функция $h(t)$ – реакцията при единично стъпаловидно въздействие, с импулсната характеристика $w(t)$ и с честотните характеристики [1], [8]. За инженерната практика най-нагледни са преките показатели, отчетени върху преходния процес:

- **пререгулиране** σ – най-голямото отклонение над установената стойност, в проценти от нея;
- **време за нарастване** t_r – времето за първо достигане на 90 % от установената стойност;
- **време за регулиране** t_s – времето, след което грешката остава в зона $\pm\Delta$, обикновено 2 % или 5 %;
- **брой колебания и степен на затихване** ψ – колко бързо намаляват амплитудите;
- **установена грешка** e_∞ – остатъчното отклонение след края на преходния процес.

Тези изисквания са противоречиви: увеличаването на бързодействието обикновено води до по-голямо пререгулиране и по-малък запас на устойчивост. Затова качеството се оценява удобно с едно число – **интегрален критерий**, който обобщава едновременно големината и продължителността на грешката $e(t) = r(t) - y(t)$ [4], [8]:

$$IAE = \int_0^\infty |e(t)|\,\mathrm{d}t \tag{1}$$

$$ISE = \int_0^\infty e^2(t)\,\mathrm{d}t \tag{2}$$

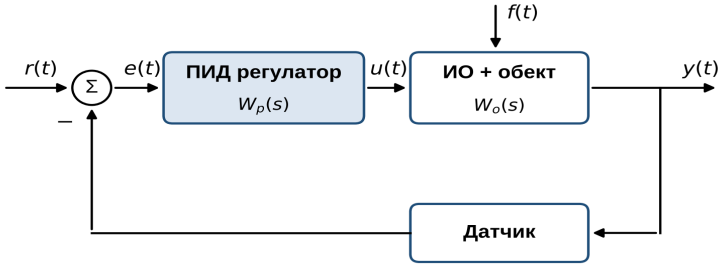
$$ITAE = \int_0^\infty t\,|e(t)|\,\mathrm{d}t \tag{3}$$

Критерият ISE наказва силно големите грешки и води до бързи, но по-колебателни процеси. IAE третира равномерно целия преходен процес. ITAE умножава грешката по времето и „наказва“ продължителните остатъчни колебания, затова дава добре затихващи

процеси с малко пререгулиране и е сред най-използваните критерии в инженерната практика [8], [11]. Оптимизацията на динамичните характеристики се свежда до търсене на такива параметри на регулатора, които минимизират избрания критерий при спазване на ограниченията за устойчивост и за максимално управляващо въздействие.

3 Математически модел на системата

Разглежда се едноконтурна САР с главна отрицателна обратна връзка (Фиг. 1). Регулаторът сравнява заданието $r(t)$ с измерената стойност $y(t)$, формира грешката $e(t)$ и изработва управляващо въздействие $u(t)$, което чрез изпълнителния орган (ИО) действа върху обекта. Смущението $f(t)$ отразява промените в натоварването на процеса.

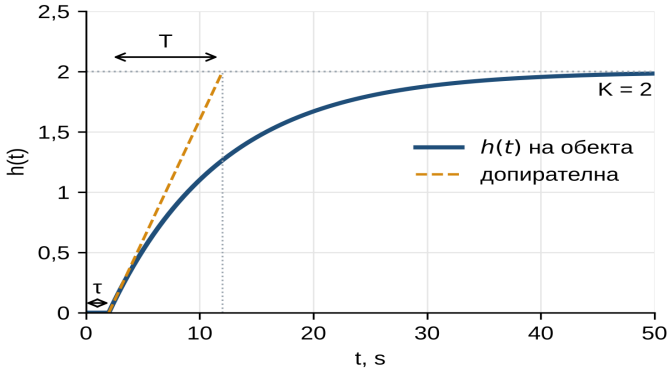


Фиг. 1. Структурна схема на едноконтурна САР с ПИД регулатор

Много промишлени обекти – пещи, сушилни, топлообменници, резервоари, екструдери – се описват достатъчно точно с апериодично звено от първи ред с транспортно закъснение [2], [5]:

$$W_o(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s} \tag{4}$$

където K е коефициентът на предаване, T – времеконстантата, а τ – транспортното закъснение. Параметрите се определят от експериментално снета крива на разгона: τ е времето до началото на реакцията, T се получава от пресечната точка на допирателната с установената стойност, а K е отношението между установеното изменение на изхода и входа (Фиг. 2). В изследването са приети K = 2, T = 10 s и τ = 2 s – стойности, типични за регулиране на температура в малка технологична камера. Отношението $\tau/T = 0{,}2$ показва умерено закъснение, при което ПИД законът е подходящ.



Фиг. 2. Крива на разгона на обекта и графично определяне на параметрите *K*, *T* и τ

Регулаторът реализира ПИД закон с филтър на диференциалната съставка [3], [6]:

$$W_p(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\frac{T_d}{N}s + 1}\right) \tag{5}$$

Пропорционалната съставка определя бързодействието, интегралната отстранява установената грешка, а диференциалната реагира на скоростта на изменение и намалява пререгулирането. Филтърът с $N = 10$ ограничава усилването на шумовете от измерването. Задачата за оптимизация се свежда до избор на вектора на настройките (K_p, T_i, T_d).

4 Методи за оптимизация на настройките

Методите за синтез и настройка на непрекъснати регулатори могат да се обединят в три групи – емпирични, аналитични и числени [3], [4], [8].

4.1. Емпирични методи

Те използват параметрите на кривата на разгона или критичния коефициент на усилване и периода на собствените колебания. Най-известен е методът на Зиглер–Никълс (1942), който цели затихване на амплитудата четири пъти за един период и дава бърз, но колебателен процес [9]. Методът на Чиен–Хронес–Ресуик (CHR) предлага отделни формули за апериодичен процес и за процес с 20 % пререгулиране, както и за режим на следене или на отработване на смущения [10]. Формулите за ПИД регулатор са дадени в Таблица 1.

Таблица 1. Формули за настройка на ПИД регулатор по кривата на разгона

Метод	K_p	T_i	T_d
Зиглер–Никълс	$1{,}2\cdot T/(K\tau)$	2τ	$0{,}5\tau$
CHR, $\sigma = 0$ %	$0{,}6\cdot T/(K\tau)$	T	$0{,}5\tau$
CHR, $\sigma = 20$ %	$0{,}95\cdot T/(K\tau)$	$1{,}4\cdot T$	$0{,}47\tau$

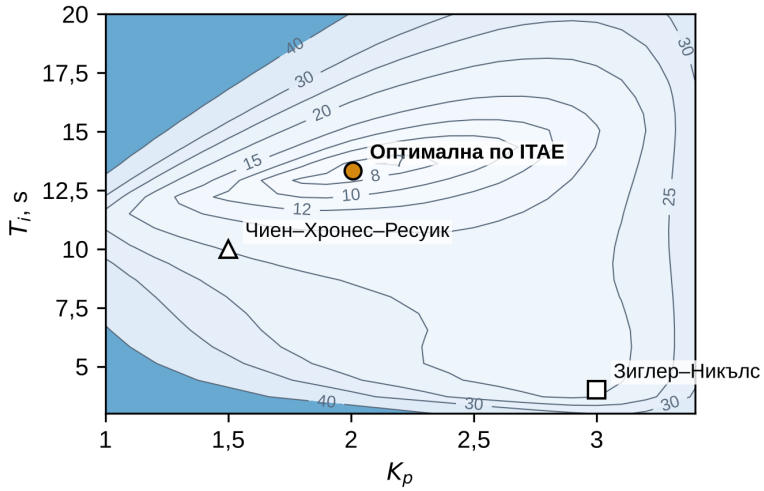
4.2. Аналитични методи

Към тях спадат методите на „техническия“ и „симетричния“ оптимум (оптимум по модул), широко използвани в електрозадвижванията на машините с ЦПУ. При техническия оптимум регулаторът компенсира голямата времеконстанта на обекта, така че затворената система да има затихване $\xi \approx 0{,}707$ и пререгулиране около 4,3 % [6]. Тук се отнася и синтезът по зададен запас по амплитуда и фаза върху честотните характеристики – обикновено 6–8 dB и 45–60°.

4.3. Числена (параметрична) оптимизация

Тя намира настройките чрез минимизация на интегрален критерий върху модела на системата [7], [11]:

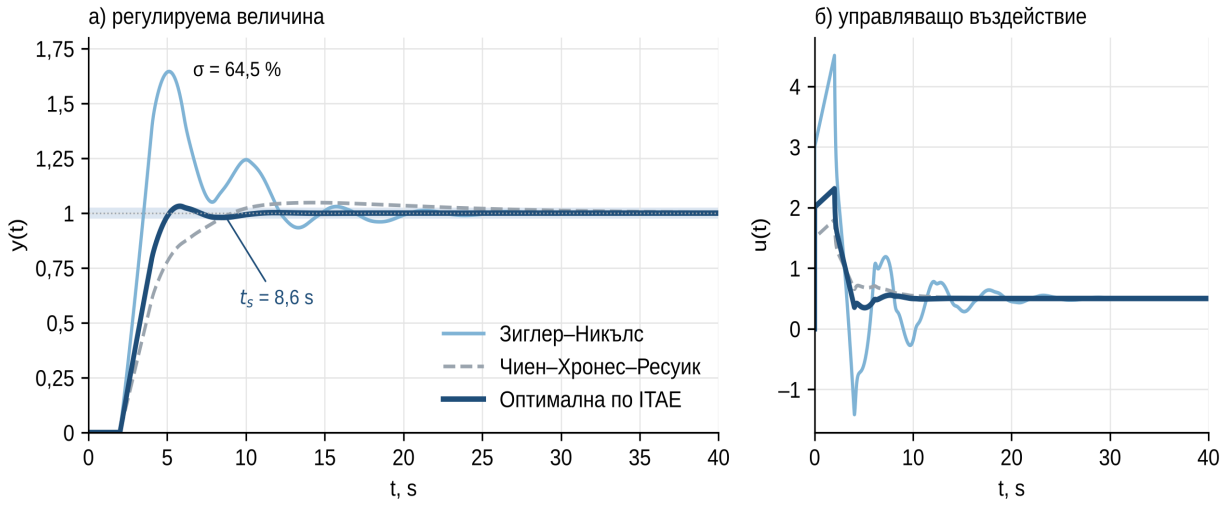
$$p^* = \arg\min_p \int_0^{t_k} t\,|e(t)|\,\mathrm{d}t \tag{6}$$



Фиг. 3. Линии на равни стойности на критерия ITAE в равнината (K_p, T_i) при T_d = 0,71 s – оптимумът лежи в ясно изразена „долина“, далеч от емпиричните настройки

където $p = (K_p, T_i, T_d)$, при ограничения $|u(t)| \le u_{max}$ и устойчивост на затворената система. На всяка стъпка алгоритъмът симулира преходния процес, изчислява критерия и коригира параметрите. Използват се градиентни методи, симплексният метод на Нелдър–Мийд, а при нелинейни обекти – генетични алгоритми и методи на роя частици. Същата идея лежи в основата на функциите за автоматична настройка (autotuning) на съвременните промишлени контролери.

Фиг. 3 показва повърхнината на критерия ITAE като функция на K_p и T_i. Минимумът е еднозначен и добре обособен, което прави задачата подходяща за локални методи за търсене. Двете емпирични настройки лежат в области, където критерият е около 3,7 пъти по-голям от оптималния.



Фиг. 4. Преходни процеси при единично стъпаловидно изменение на заданието: а) регулируема величина $y(t)$ със зона ±2 %; б) управляващо въздействие $u(t)$. Настройката по Зиглер–Никълс е бърза, но силно колебателна; CHR е апериодична, но бавна; оптималната по ITAE съчетава бързина и малко пререгулиране

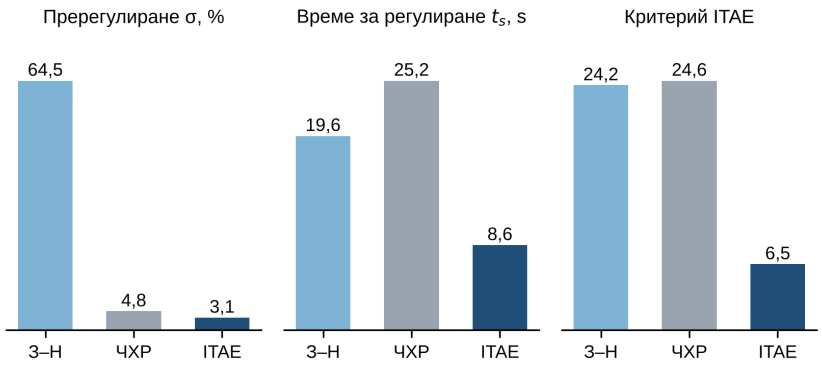
5 Симулационно изследване

Системата от Фиг. 1 е моделирана в Python (NumPy/SciPy) с дискретна стъпка 0,01 s. Сравнени са три настройки: по Зиглер–Никълс, по CHR за апериодичен процес и настройка, оптимална по ITAE, намерена с метода на Нелдър–Мийд с начална точка настройката CHR [11]. Резултатите са обобщени в Таблица 2, а преходните процеси са показани на Фиг. 4.

5.1. Следене на заданието

Настройката по Зиглер–Никълс дава най-бързо нарастване (3,4 s), но с пререгулиране 64,5 % и няколко затихващи колебания. Управляващото въздействие достига 4,5 пъти установената си стойност, което в реален процес означава претоварване на изпълнителния орган, прегряване и риск от брак. Настройката CHR почти няма пререгулиране (4,8 %), но регулируемата величина се приближава бавно до заданието и остава извън зоната ±2 % до 25,2 s.

Оптималната по ITAE настройка (K_p = 2,01; T_i = 13,3 s; T_d = 0,71 s) съчетава двете предимства: пререгулиране 3,1 % и време за регулиране 8,6 s – 2,3 пъти по-кратко от Зиглер–Никълс и 2,9 пъти по-кратко от CHR (Фиг. 5). Максималното управляващо въздействие е 2,3, т.е. два пъти по-малко от това при Зиглер–Никълс. Оптималният K_p е по-нисък, а T_i – по-голям от емпиричните стойности, което потвърждава, че класическите формули са добра начална точка, но не и окончателно решение [4].



Фиг. 5. Сравнение на основните показатели на качеството при трите настройки

Таблица 2. Настройки на регулатора и показатели на качеството (t_s при зона ±2 %; смущението е единичен скок на входа на обекта)

Настройка	K_p	T_i, s	T_d, s	σ, %	t_r, s	t_s, s	IAE	ITAE	Δy_{max} (смущ.)	IAE (смущ.)
Зиглер–Никълс	3,00	4,0	1,00	64,5	3,4	19,6	5,33	24,2	0,38	1,58
CHR, σ = 0 %	1,50	10,0	1,00	4,8	6,7	25,2	4,80	24,6	0,46	6,66
Оптимална по ITAE	**2,01**	**13,3**	**0,71**	**3,1**	**4,5**	**8,6**	**3,40**	**6,5**	**0,44**	**6,56**
2DOF ПИД (b = 0,33)	2,99	3,85	0,77	12,3	4,8	13,0	4,05	10,6	0,39	1,42

5.2. Отработване на смущения

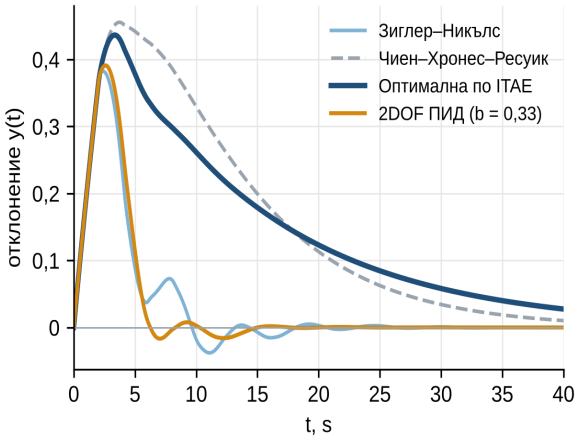
В реалните производствени процеси по-често се променя натоварването, отколкото заданието. Затова е изследвана и реакцията при единичен скок на смущението на входа на обекта (Фиг. 6). Резултатът показва важно ограничение: настройката, оптимална за следене

на заданието, отработва смущението бавно – голямата интегрална времеконстанта T_i = 13,3 s забавя връщането към заданието и IAE по смущение е 6,56 срещу 1,58 при Зиглер–Никълс.

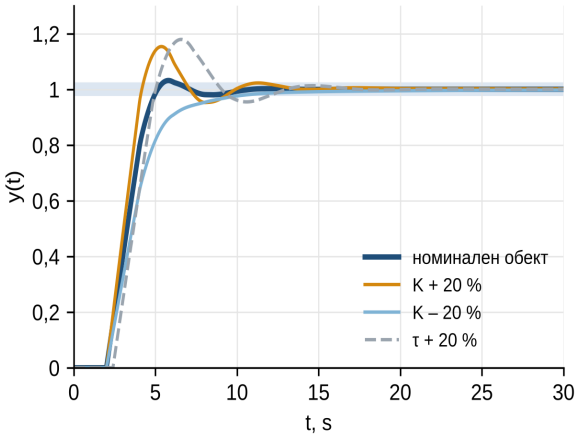
Компромисът може да се преодолее с регулатор с две степени на свобода (2DOF ПИД). При него параметрите K_p, T_i и T_d се оптимизират по ITAE за смущението, а пропорционалната съставка действа върху претеглено задание $b \cdot r - y$, като диференциалната съставка се изчислява само по измерената величина [4], [12]. С b = 0,33 се получава IAE по смущение 1,42 – най-добрата стойност от всички настройки – при пререгулиране по задание 12,3 % и време за регулиране 13,0 s.

5.3. Робастност на оптималната настройка

Параметрите на реалния обект се променят с режима, натоварването и износването, затова оптималната настройка е проверена при отклонение на K и τ с ±20 % (Фиг. 7). При K + 20 % пререгулирането нараства до 15,3 %, а при τ + 20 % – до 17,9 %, като времето за регулиране остава под 12,1 s. При същите изменения настройката по Зиглер–Никълс дава пререгулиране съответно 85,9 % и 98,8 % и време за регулиране до 56 s. Оптималната по ITAE настройка следователно е не само по-бърза, но и значително по-робастна.



Фиг. 6. Отклонение на регулируемата величина при единичен скок на смущението на входа на обекта



Фиг. 7. Преходни процеси с оптималната по ITAE настройка при ±20 % изменение на параметрите на обекта

6 Практически препоръки

Въз основа на изследването могат да се формулират следните препоръки за настройка на регулаторите в автоматизирано производство:

- моделът на обекта да се определя експериментално по кривата на разгона и да се проверява периодично, тъй като параметрите му се променят с времето;
- емпиричните формули да се използват като начална точка, а окончателните настройки да се получават чрез числена оптимизация върху модела;
- критерият да се избира според преобладаващия режим – ITAE по задание за процеси с чести смени на режима и ITAE по смущение за процеси с постоянно задание и променливо натоварване;
- при двата режима едновременно да се използва 2DOF структура, която се поддържа от повечето съвременни контролери;

– оптималните настройки да се проверяват за робастност при ±20 % изменение на параметрите и за ограничението на изпълнителния орган, преди да се внедрят.

7 Заключение

В доклада е разгледана оптимизацията на динамичните характеристики на САР на автоматизиран производствен процес. Показано е, че интегралните критерии са удобна мярка за качеството, а числената минимизация на ITAE дава настройка, която едновременно намалява времето за регулиране от 19,6 s на 8,6 s и пререгулирането от 64,5 % на 3,1 % спрямо метода на Зиглер–Никълс. Оптималната настройка е и по-робастна към изменение на параметрите на обекта.

Изследването показва също, че няма универсално най-добра настройка: оптимумът зависи от критерия и от режима на работа. Настройката, оптимална за следене на заданието, отработва смущенията бавно, а 2DOF структурата позволява този компромис да се преодолее. Бъдещата работа може да включва многокритериална оптимизация, адаптивна настройка в реално време и експериментална проверка върху промишлен контролер.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

[2] Ангелов, В., Петров, П. (2012). Система за автоматично регулиране на температура с използване на LabVIEW. XXI МНТК „АДП-2012“, с. 414–420.

[3] Закони за регулиране. Методи за синтез и настройка на непрекъснати регулатори. Екстремални управляващи системи. Лекционен курс.

[4] Åström, K. J., Hägglund, T. (2006). Advanced PID Control. Research Triangle Park: ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society.

[5] O'Dwyer, A. (2009). Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules. 3rd ed. London: Imperial College Press.

[6] Томов, Л. (2011). Проектиране на цифрови регулатори за управление на сложни динамични обекти в условията на неопределеност. Дисертация. София: ТУ – София, факултет „Автоматика“.

[7] Орманджиев, К. (2012). Оптимално управление на електропневматична следяща система. Научни трудове на Русенския университет, т. 51, серия 1.2.

[8] Dorf, R. C., Bishop, R. H. (2017). Modern Control Systems. 13th ed. Harlow: Pearson.

[9] Ziegler, J. G., Nichols, N. B. (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers. Transactions of the ASME, 64, pp. 759–768.

[10] Chien, K. L., Hrones, J. A., Reswick, J. B. (1952). On the Automatic Control of Generalized Passive Systems. Transactions of the ASME, 74, pp. 175–185.

[11] Nelder, J. A., Mead, R. (1965). A Simplex Method for Function Minimization. The Computer Journal, 7(4), pp. 308–313.

[12] Åström, K. J., Murray, R. M. (2008). Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton: Princeton University Press.

EXPERIMENTAL STUDY OF LATENCY IN THE EXECUTION OF CONTROL ALGORITHMS IN A REAL-TIME SYSTEM*

VALENTIN G. ZHELYAZKOV, RIZA M. RIZAEV

ABSTRACT: *The correctness of a real-time control system depends not only on the correctness of the computed control actions but also on the moment at which they are applied to the controlled plant. This paper presents an experimental study of latency in the periodic execution of two control algorithms – a discrete PID controller and a model predictive controller (MPC) – with a period of 1 ms in a multitasking operating system. Wake-up latency, computation time and response time were measured for 480 000 control cycles under two scheduling policies (SCHED_OTHER and SCHED_FIFO), with and without interfering load. Under load, priority-based scheduling reduces the 99th percentile of latency from 2.2 ms to 0.18 ms and the share of missed deadlines from 1.7 % to 0.27 %. At the same time, the worst-case values remain in the order of tens of milliseconds due to the virtualization layer, which confirms that average values are not a sufficient characteristic of systems with hard timing requirements.*

KEYWORDS: *real-time systems, latency, jitter, SCHED_FIFO, digital control, PID and MPC controllers*

DOI: https://doi.org/10.46687/MT26VRR

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЛАТЕНТНОСТТА ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕ НА УПРАВЛЯВАЩИ АЛГОРИТМИ В РЕАЛНОВРЕМЕВА СИСТЕМА

ВАЛЕНТИН Г. ЖЕЛЯЗКОВ, РИЗА М. РИЗАЕВ

АБСТРАКТ: *Коректността на една система за управление в реално време зависи не само от правилността на изчислените управляващи въздействия, но и от момента, в който те се прилагат към обекта. В доклада е представено експериментално изследване на латентността при периодично изпълнение на два управляващи алгоритъма – дискретен PID регулатор и предиктивен регулатор (MPC) – с период 1 ms в многозадачна операционна система. За всеки от общо 480 000 управляващи цикъла са измерени латентността на събуждане, времето за изчисление и времето за реакция при два класа на планиране (SCHED_OTHER и SCHED_FIFO) и при наличие и отсъствие на смущаващо натоварване. Приоритетното планиране намалява 99-ия персентил на латентността при натоварване от 2,2 ms до 0,18 ms, а делът на пропуснатите крайни срокове – от 1,7 % до 0,27 %. Същевременно максималните стойности остават от порядъка на десетки милисекунди поради влиянието на виртуализиращия слой, което потвърждава, че средните стойности не са достатъчна характеристика за системи с твърди времеви изисквания.*

1 Въведение

Системите за управление в реално време (СУРВ) служат за следене и управление на обекти от реалния свят – технологични линии, машини с ЦПУ, двигатели, роботи. Те възприемат множество от въздействия $A = \{a_n\}$, възникващи асинхронно, и изработват множество от реакции $R = \{b_m\}$, като зависимостта $R = R(A)$ задава алгоритъма на функциониране на системата [3], [4].

* Докладът е частично финансиран по проект № РД-08-113/05.02.2026 г. „Научна конференция с международно участие МАТТЕХ 2026 – ФТН“

В цифровите системи за управление това изискване има конкретно измерение. Управляващият алгоритъм се изпълнява периодично, с период на дискретизация T, а неговите параметри се изчисляват при допускането, че отчитането на изхода на обекта и прилагането на управлението стават в строго определени моменти [6]. Всяко закъснение спрямо тези моменти – латентност – и всяко колебание на закъснението от цикъл на цикъл – джитер – внасят допълнително фазово закъснение в затворения контур и в крайна сметка влошават качеството на управлението или дори водят до загуба на устойчивост [7]. В индустриалните системи за управление (ICS) именно критичното време за отговор е едно от основните различия спрямо класическите информационни системи [5].

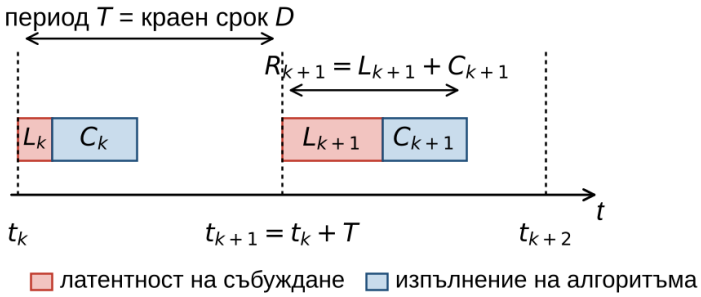
Целта на настоящата работа е да се измери експериментално латентността при изпълнение на реални управляващи алгоритми в многозадачна операционна система, да се оцени влиянието на класа на планиране, на смущаващото натоварване и на изчислителната сложност на алгоритъма, както и да се формулират практически препоръки за проектиране на реалновремеви управляващи приложения.

2 Времеви изисквания и източници на латентност

Изискването за работа в реално време се свежда до изпълнение на неравенството [3]

$$T_r \le t_d \tag{1}$$

където T_r е времето за изработване на реакцията $r \in R$ на въздействието $a \in A$, а t_d е крайният срок за тази реакция. Нарушаването на (1) е равносилно на отказ на системата. Според последствията от такъв отказ се различават системи с твърди (hard real time) и с меки (soft real time) времеви изисквания; разликата между тях не е в абсолютната стойност на времето за реагиране, а в това какви са последствията от закъснението [4], [1].



Фиг. 1. Времева диаграма на периодичния управляващ цикъл – латентност на събуждане L, време за изпълнение C и време за реакция R

2.1. Компоненти на латентността

Времето за реакция на периодичен управляващ процес може да бъде представено като сума от няколко компонента (фиг. 1). Първият е латентността на прекъсването – времето от сигнала на таймера до изпълнението на първата инструкция на обработчика. То нараства, когато прекъсванията са временно забранени [4], [1]. Вторият компонент е латентността на планировчика – времето, необходимо на диспечера на ОСРВ да установи, че задачата е станала готова, да я избере по приоритет и да превключи контекста към нея. В класическата архитектура на ядро на ОСРВ диспечерът на системния часовник се задвижва от периодично прекъсване на хардуерен таймер (напр. Timer_A при микроконтролерите MSP430) и именно продължителността на системния квант задава разделителната

способност на времевите услуги [3]. Третият компонент е собственото време за изпълнение C на управляващия алгоритъм, което зависи от неговата изчислителна сложност, от кеш паметта и от конкуренцията за общите ресурси.

Така за k-тия цикъл се дефинират латентността на събуждане $L_k = t_{w,k} - t_k$, където $t_k = t_0 + kT$ е планираният момент, а $t_{w,k}$ – действителният момент на стартиране на задачата, и времето за реакция

$$R_k = L_k + C_k \leq D \tag{2}$$

където D е крайният срок (в настоящото изследване D = T). Джитерът се характеризира чрез стандартното отклонение σ_L и чрез разликата между максималната и минималната латентност. За системите с твърди изисквания определяща е не средната, а максималната (най-лошата) стойност на R_k, затова в анализа се използват високи персентили (99 % и 99,9 %) и броят на нарушенията на (2) [1], [8].

3 Методика на експеримента

3.1. Експериментална платформа

Изследването е проведено на двуядрена x86-64 виртуална машина (Intel Xeon, 2,8 GHz, 8 GB RAM) с ядро Linux 6.18 с динамично избираема преемптивност (PREEMPT_DYNAMIC), без кръпката PREEMPT_RT. Програмата за измерване е написана на езика C и компилирана с GCC 15 (оптимизация -O2).

3.2. Управляващи алгоритми и обект

Като обект за управление е използван модел на постояннотоков двигател от втори ред ($J = 0{,}01$ kg·m², $b = 0{,}1$ N·m·s, $K = 0{,}01$ N·m/A, $R = 1\ \Omega$, $L = 0{,}5$ H), който се интегрира числено с действителното изминало време между отделните моменти на отчитане. Заданието за ъгловата скорост е правоъгълен сигнал със стойности 2 и 1 rad/s и полупериод 2 s. Изследвани са два алгоритъма с различна изчислителна сложност:

- PID – дискретен PID регулатор в позиционна форма с ограничение на управлението ±24 V и защита от интегрално насищане ($K_p = 25$, $K_i = 60$, $K_d = 0{,}2$);
- MPC – предиктивен регулатор, който на всеки такт симулира модела на обекта 60 стъпки напред (хоризонт 60 ms) за 25 кандидат-стойности на управлението и избира тази с минимален квадратичен критерий.

И двата алгоритъма се изпълняват с период T = 1 ms, т.е. с честота 1 kHz, типична за контури по скорост и ток в електрозадвижванията и машините с ЦПУ.

3.3. Метод на измерване

Периодичната задача използва абсолютни времеви моменти (clock_nanosleep с флаг TIMER_ABSTIME върху часовника CLOCK_MONOTONIC), за да не се натрупва грешка от цикъл на цикъл. Непосредствено след събуждането и след изчисляване на управлението се отчита текущото време, от което се определят L_k, C_k и R_k. Данните се записват в паметта и се извеждат във файл едва след края на опита. Подходът е аналогичен на инструмента cyclictest [9], но включва реално изчисление на управлението.

3.4. Сценарии

За всеки алгоритъм са проведени четири опита с продължителност по 60 s (60 000 цикъла): при стандартния клас на планиране SCHED_OTHER и при приоритетния клас SCHED_FIFO (приоритет 80, адресно пространство, заключено в паметта чрез mlockall), всеки от тях без смущаващо натоварване и с натоварване. Натоварването се генерира от два процеса, които копират блокове от 64 MB и изпълняват изчисления с плаваща запетая

(натоварване на процесора, кеша и шината на паметта), и от трети процес, който извършва интензивни системни извиквания и запис във файл със синхронизация (fsync). Общо са анализирани 480 000 управляващи цикъла.

4 Резултати

Обобщените резултати са дадени в табл. 1, а разпределенията на латентността – на фиг. 2 и фиг. 3.

Таблица 1. Обобщени резултати от измерванията (T = D = 1 ms, 60 000 цикъла за сценарий)

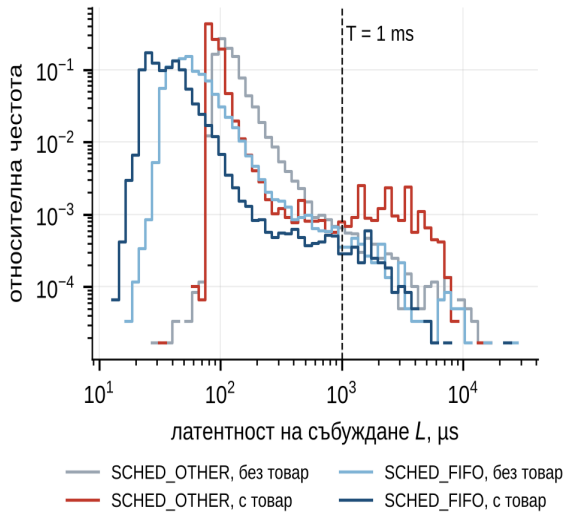
Алго-ритъм	Клас	Товар	L медиана, µs	L P99, µs	L P99,9, µs	L max, µs	σ_L, µs	C медиана, µs	R > D, брой (%)
PID	OTHER	не	113,6	483,8	2840	16802	240,6	0,20	260 (0,43 %)
PID	OTHER	да	88,4	2228,4	5483	15728	407,4	0,18	1035 (1,73 %)
PID	FIFO	не	53,8	335,3	2194	25033	215,2	0,19	192 (0,32 %)
PID	FIFO	да	35,4	179,7	1788	23237	148,4	0,18	161 (0,27 %)
MPC	OTHER	не	111,3	509,1	4204	28453	292,5	139,3	548 (0,91 %)
MPC	OTHER	да	92,4	4411,5	6602	21492	729,9	133,9	2859 (4,76 %)
MPC	FIFO	не	59,7	304,2	2121	26349	214,5	134,4	355 (0,59 %)
MPC	FIFO	да	37,6	157,4	1890	55412	276,7	133,9	221 (0,37 %)

Забележка: L – латентност на събуждане; C – време за изпълнение на алгоритъма; σ_L – стандартно отклонение на L (джитер); P99 и P99,9 – 99-и и 99,9-и персентил; R > D – брой цикли с пропуснат краен срок.

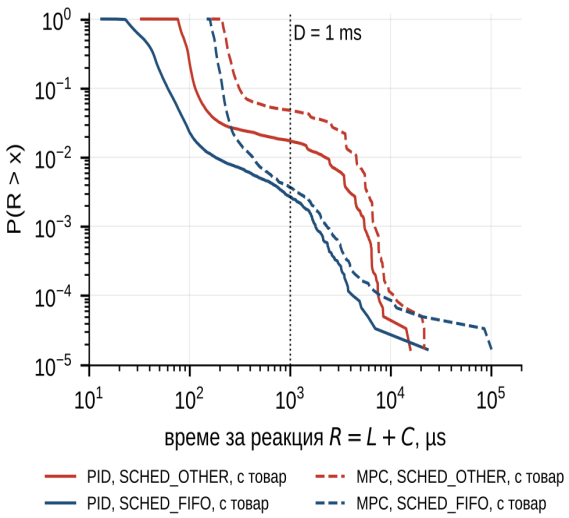
При стандартния клас на планиране медианата на латентността е около 90–115 µs. При натоварване разпределението се разширява силно: 99-ият персентил нараства от 0,48 ms до 2,2 ms, а около 1,7 % от циклите на PID регулатора надхвърлят крайния срок от 1 ms. При MPC алгоритъма, чието собствено време за изчисление е около 134 µs, делът на пропуснатите срокове достига 4,8 %. На фиг. 2 ясно се вижда втори максимум в интервала 1–10 ms, който съответства на случаите, в които управляващата задача изчаква изтичането на кванта на конкурентен процес.

При приоритетния клас SCHED_FIFO медианата намалява до 35–60 µs, а 99-ият персентил при натоварване – до 0,18 ms за PID и 0,16 ms за MPC, т.е. над 12 пъти по-малко в сравнение със SCHED_OTHER. Делът на пропуснатите срокове спада до 0,27 % (PID) и 0,37 % (MPC). Собственото време за изчисление C практически не зависи от сценария (медиана 0,2 µs за PID и 134 µs за MPC), което показва, че основният източник на неопределеност е не самият алгоритъм, а средата, в която той се изпълнява.

Във всички сценарии обаче максималната латентност остава от порядъка на 15–55 ms, а при MPC с натоварване единично време за реакция достига 101 ms. Тези стойности се дължат на кратковременно спиране на виртуалните процесори от хипервизора: за времето на опитите делът на т.нар. „откраднато“ процесорно време (steal time), отчетен от ядрото, е около 1,05 %. Срещу тях приоритетът на задачата е безсилен.



Фиг. 2. Разпределение на латентността на събуждане L за PID регулатора (логаритмичен мащаб по двете оси)



Фиг. 3. Вероятност за превишаване P(R > x) на времето за реакция при натоварена система

5 Анализ и дискусия

5.1. Влияние на класа на планиране

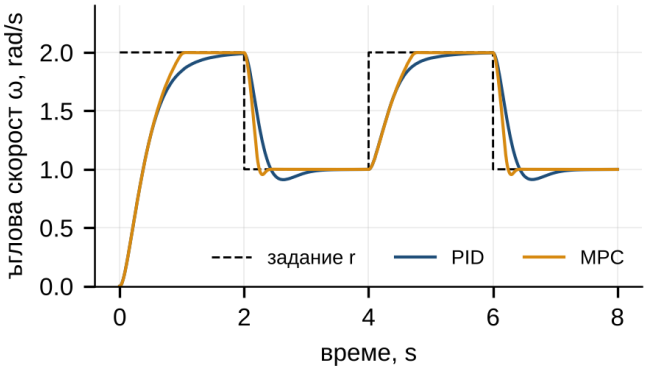
Подобрението на медианата с около 55 µs при SCHED_FIFO има конкретна причина. За задачи от стандартния клас ядрото прилага т.нар. отпуснатост на таймера (timer slack) от 50 µs по подразбиране, като умишлено групира близки във времето събуждания с цел икономия на енергия; за реалновремевите задачи тази отпуснатост е нула. По-съществения ефект е в „опашката“ на разпределението – при SCHED_FIFO управляващата задача изземва процесора от процесите с по-нисък приоритет веднага щом стане готова, вместо да чака балансиране по справедливост на процесорното време. Това илюстрира принципа на приоритетна диспечеризация в ядрото на OCPB [3], [1].

5.2. Парадоксът на ненатоварената система

Неочаквано, медианната латентност без натоварване е по-голяма, отколкото с натоварване (54 µs срещу 35 µs за PID при SCHED_FIFO). Причината е, че при липса на работа процесорът преминава в състояние на покой, а във виртуална среда излизането от него изисква допълнителна намеса на хипервизора. Следователно латентността трябва да се оценява при най-неблагоприятния, а не при „най-лекия“ режим на работа.

5.3. Изчислителна сложност и качество на управлението

Времето за изпълнение на MPC алгоритъма (около 134 µs) заема 13 % от периода и измества цялото разпределение на времето за реакция надясно (фиг. 3). Колкото по-голям е делът на C в периода T, толкова по-малък е резервът за латентност на ОС и толкова по-чувствителен е алгоритъмът към смущения. За да се спази условие (2), трябва да е изпълнено $L_{max} + C_{max} \leq D$, като C_{max} трябва да се определя чрез анализ на най-лошото време за изпълнение (WCET), а не чрез средни стойности [1].



Фиг. 4. Преходни процеси при PID и MPC регулаторите в сценария SCHED_FIFO с натоварване

Средната абсолютна грешка на регулиране (IAE) остава практически непроменена във всички сценарии (0,166–0,170 rad/s за PID и 0,115–0,129 rad/s за MPC), а преходните процеси (фиг. 4) са практически идентични. Причината е, че механичната времеконстанта на обекта (около 0,1 s) е два порядъка по-голяма от типичната латентност, а големите закъснения засягат малка част от циклите. Този извод не бива да се обобщава: при по-бързи обекти (контури по ток, активно потискане на вибрации, позициониране на оси при машини с ЦПУ) същите закъснения биха били съизмерими с времеконстантата на обекта и биха влошили съществено качеството на управлението [7].

5.4. Препоръки

Резултатите позволяват да се формулират следните практически препоръки при проектиране на управляващи приложения:

- управляващите задачи да се изпълняват с реалновремеви приоритет и с адресно пространство, заключено в паметта;
- периодът да се формира с абсолютни времеви моменти, а не с относително закъснение;
- за твърди изисквания да се използва ядро с PREEMPT_RT [8], изолирани процесорни ядра или специализиран реалновремеви контролер [2], а виртуализирана среда без гаранции от хипервизора да се избягва;
- времевите характеристики да се оценяват чрез максимални стойности и високи персентили, измерени при най-неблагоприятно натоварване, а не чрез средни стойности.

6 Заключение

В доклада е представена методика и резултати от експериментално изследване на латентността при периодично изпълнение на два управляващи алгоритъма с честота 1 kHz. Показано е, че приоритетното планиране SCHED_FIFO намалява 99-ия персентил на латентността при натоварване над 12 пъти и намалява делът на пропуснатите крайни срокове от 1,7–4,8 % до 0,27–0,37 %. Собственото време за изчисление на алгоритмите е стабилно, а основната неопределеност идва от средата за изпълнение – планировчика, енергийните състояния на процесора и виртуализиращия слой.

Едновременно с това експериментът показва, че универсална операционна система във виртуализирана среда не може да гарантира твърди времеви изисквания: максималните

закъснения достигат десетки милисекунди независимо от приоритета на задачата. Бъдещата работа предвижда сравнение с ядро PREEMPT_RT и с микроконтролерна ОСРВ при еднакъв управляващ алгоритъм.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Голубев А. С. Системы реального времени: конспект лекций. Владимир, Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010, 127 с.

[2] Евтимов Т., Пунов П. Управление в реално време на дизелови двигатели с Common Rail горивна система с помощта на PXI система за контрол и LabView. Научни трудове на Русенския университет, том 50, серия 4, 2011.

[3] Операционна система за реално време – системно ядро. Лекции по ОСРВ, ШУ „Епископ Константин Преславски“, 2016/17.

[4] Операционни системи за реално време. Основни понятия. Лекция 1, ШУ „Епископ Константин Преславски“, 2015.

[5] Стоилов Е. Сигурност в системите за управление на технологични процеси. София, Департамент „Информатика“, НБУ, 2010.

[6] Åström K. J., Wittenmark B. Computer-Controlled Systems: Theory and Design. 3rd ed., Prentice Hall, 1997.

[7] Cervin A., Henriksson D., Lincoln B., Eker J., Årzén K.-E. How does control timing affect performance? IEEE Control Systems Magazine, Vol. 23, No. 3, 2003, pp. 16–30.

[8] Reghenzani F., Massari G., Fornaciari W. The Real-Time Linux Kernel: A Survey on PREEMPT_RT. ACM Computing Surveys, Vol. 52, No. 1, 2019, Article 18.

[9] The Linux Foundation. rt-tests: cyclictest. URL: https://wiki.linuxfoundation.org/realtime/documentation/howto/tools/cyclictest/start

СЪДЪРЖАНИЕ

SAFETY-BY-DESIGN В ИНЖЕНЕРНАТА ЛОГИСТИКА: КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ ЗА ПРЕДВАРИТЕЛНА ОЦЕНКА НА РИСКА ПРИ СКЛАДОВИ И ПРОИЗВОДСТВЕНО-ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ, Йорданка И. Янкова-Йорданова, Николай Х. Йорданов... 3

КОНТРОЛЪТ ВЪРХУ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА СПЕЦИАЛНИ РАЗУЗНАВАТЕЛНИ СРЕДСТВА: ПРОБЛЕМИ И НАСОКИ ЗА УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ, Силвия К. Кирилова, Доника В. Диманова 11

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН АНАЛИЗ НА УЯЗВИМОСТИ ПРИ БЕЗЖИЧНИ УПРАВЛЯВАЩИ СИСТЕМИ В ISM ДИАПАЗОНА 433 MHZ, Димитър Н. Грешков, Здравко Ю. Кузманов 20

СИГУРНОСТ НА ИНФОРМАЦИОННИТЕ ПОТОЦИ В АДМИНИСТРАЦИЯТА НА ВИСШЕ УЧИЛИЩЕ: РИСКОВЕ И МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА, Еда Е. Закир, Доника В. Диманова 31

ЗАЩИТА НА ВИДЕОДАННИТЕ В ЦИФРОВИ И ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ ЗА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ: ТЕХНИЧЕСКИ РИСКОВЕ И МЕРКИ, Деян П. Иванов, Доника В. Диманова 39

ВОЕННИЯТ КОНФЛИКТ МЕЖДУ САЩ И ИРАН И НЕГОВОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ НАЦИОНАЛНАТА СИГУРНОСТ НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ, Илиана К. Симеонова, Седеф Ш. Неджмедин, Дерия М. Ариф 50

ГЕОПОЛИТИЧЕСКАТА СРЕДА КАТО ФАКТОР ЗА ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ПУБЛИЧНАТА АДМИНИСТРАЦИЯ, Илиана К. Симеонова 64

ИЗКУСТВЕНИЯТ ИНТЕЛЕКТ КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА АДМИНИСТРАТИВНАТА СИГУРНОСТ: ВЪЗМОЖНОСТИ, РИСКОВЕ И АВТОРСКИ МОДЕЛ, Илиана К. Симеонова 73

МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ОТКАЗИ В КОМПЮТЪРНИ МРЕЖИ ЧРЕЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕНИ МЕТОДИ, Нели А. Арабаджиева-Калчева, Цветослав С. Цанков 84

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА РУТИННИ ОПЕРАЦИИ ПО КИБЕРСИГУРНОСТ В СЪВРЕМЕННИТЕ ЦЕНТРОВЕ ЗА ОПЕРАЦИИ ПО СИГУРНОСТТА, Стоян Р. Стоянов, Тихомир С. Трифонов 89

FROM SURVEYING TO CONSTRUCTION LAYOUT: AN INTEGRATED DIGITAL GEODETIC WORKFLOW FOR A KARTING COMPLEX, Ani A. Stefanova, Ana D. Dimitrova 107

SURVEYOR 4.0: A COMPETENCY FRAMEWORK FOR GEOSPATIAL PROFESSIONALS IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, Ani A. Stefanova 115

ПРИЛАГАНЕ НА МРЕЖОВ АНАЛИЗ И ГРАФОВИ МОДЕЛИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА КОГНИТИВНИТЕ ПРОЦЕСИ ВЪРХУ СУБЕКТИВНОТО БЛАГОПОЛУЧИЕ В ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОГРАФИЯ, Даниел Р. Денев, Мадлен А. Тодорова 123

СЪДЪРЖАНИЕ

НОРМАТИВНИ ДЕФИЦИТИ И НЕОБХОДИМОСТ ОТ КАРТОГРАФСКА СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРИ НЕТРАДИЦИОННИТЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИ ДЕЙНОСТИ, Иван Д. Иванов 136

ГЕОДЕЗИЧЕСКО ОСИГУРЯВАНЕ И ВЕРТИКАЛНО ПЛАНИРАНЕ ПРИ ПРЕОФОРМЯНЕ НА МЕЖДУБЛОКОВА ГРАДСКА СРЕДА, Илияна Н. Теохарова, Кирил Ф. Янчев 147

УСТАНОВЯВАНЕ И ОТСТРАНЯВАНЕ НА ЯВНА ФАКТИЧЕСКА ГРЕШКА В КАДАСТРАЛНАТА КАРТА ПРИ ЛИНЕЕН ОБЕКТ – ПЪТ III-3005, Димитър П. Иванов, Кирил Ф. Янчев 159

СТАНОВИЩЕ ЗА ИДЕНТИЧНОСТ, Иван Д. Иванов 170

ДИГИТАЛИЗАЦИЯ НА ТУРИСТИЧЕСКИТЕ РЕСУРСИ В ПРИРОДЕН ПАРК „РУСЕНСКИ ЛОМ“, Мирослав Н. Кацаров 179

РАЗРАБОТВАНЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАН ПОДРОБЕН УСТРОЙСТВЕН ПЛАН И ПАРЦЕЛАРЕН ПЛАН НА АКВАТОРИЯТА НА РИБАРСКО ПРИСТАНИЩЕ „ЧАЙКА“, ГР. БЯЛА, Радомир Д. Теохаров, Красимира К. Кирилова 189

ТЕХНОЛОГИЧНИ, ИСТОРИЧЕСКИ И НОРМАТИВНИ АСПЕКТИ ПРИ ДИГИТАЛИЗИРАНЕТО НА КАДАСТРАЛНИ И РЕГУЛАЦИОННИ ПЛАНОВЕ, Нигяр Х. Янкова 200

КАРТИРАНЕ НА ТЕРЕНИ, ПОДЛОЖЕНИ НА ЕРОЗИОННИ ПОЧВЕНИ ПРОЦЕСИ, Николай Пл. Желязков, Евгени Гр. Стойков 209

SBAS INSAR ЗА СПЪТНИКОВ МОНИТОРИНГ НА ЗЕМНИ ДЕФОРМАЦИИ, Стоян Д. Митрев 217

АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА СПЕЦИАЛИЗИРАНИЯ КАДАСТЪР В ИНВЕСТИЦИОННОТО ПРОЕКТИРАНЕ В ОБЛАСТ ШУМЕН, Мирем Е. Ниязи-Юсуф 222

MODERN REMOTE SENSING TECHNOLOGIES FOR MONITORING MARINE POLLUTION, Melike Önce Nişancioğlu 236

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ИНСТРУМЕНТАЛНИТЕ И МЕТОДИЧЕСКИТЕ ГРЕШКИ ПРИ ПРЕЦИЗНО ВИСОЧИННО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИНЖЕНЕРНИ СЪОРЪЖЕНИЯ, Найлян М. Салиева 240

ОПИСАНИЕ НА МНОГОЕТАПЕН МОДЕЛ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ, Валентина П. Тодорова-Лазарова 251

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОЕТАПЕН МОДЕЛ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ ВЪРХУ ДИНАМИЧНА СИСТЕМА, Валентина П. Тодорова-Лазарова 259

6G МРЕЖИ КАТО ОСНОВА ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО ПРОИЗВОДСТВО, Ивайло И. Петров, Петър Г. Сотиров 268

СЪДЪРЖАНИЕ

ИНДУСТРИЯ 6.0 И НОВИТЕ ПАРАДИГМИ НА УСТОЙЧИВОТО И ИНТЕЛИГЕНТНО ПРОИЗВОДСТВО, Юрай Ю. Мехмедов, Даниел Р. Денев 277

THE INTEGRAL – FROM AREA TO PROBABILITY: AN INTEGRATED APPROACH TO TEACHING MATHEMATICS, PHYSICS, AND TECHNICAL SCIENCES, Gergana I. Manova, Lyubomir E. Manov 287

ИНТЕГРИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТТА, ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР И УСТОЙЧИВОСТТА В ИНЖЕНЕРНО-ЛОГИСТИЧНИТЕ СИСТЕМИ, Йорданка И. Янкова-Йорданова 296

ЛОГИСТИЧНИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ДОБИВА И ТРАНСПОРТИРАНЕТО НА ХЕЛИЙ 3 ОТ ЛУНАТА ДО ЗЕМЯТА, Климент С. Николов 304

УПРАВЛЕНИЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ И КРЪГОВА ИКОНОМИКА: ИНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГИЧЕН АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПОДХОДИ И УСТОЙЧИВОСТТА, Сечкин Х. Мехмед, Йорданка И. Янкова-Йорданова 311

МОДЕЛ ЗА ИНФОРМАЦИОННИ ОБСЛУЖВАНЕ И СИГУРНОСТ, ЕЛЕКТРОНЕН ДОКУМЕНТООБОРОТ И АРХИВИРАНЕ В АДМИНИСТРАТИВНАТА ПРАКТИКА, Петър И. Петров 319

ПРИЛОЖЕНИЕ НА АПРОКСИМАЦИЯТА ПРИ УДЪЛЖАВАНЕ СРОКА ЗА ТЕХНИЧЕСКА ГОДНОСТ, Андрей И. Богданов, Илия В. Стойчев 324

МЕТОДОЛОГИЯТА 5S И КОЛИЧЕСТВЕНА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИТЕ ОТ НЕЙНОТО ПРИЛАГАНЕ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ: ТЕОРЕТИКО-ПРИЛОЖЕН ПОДХОД, Веселина Р. Коджейкова, Петър И. Петров 329

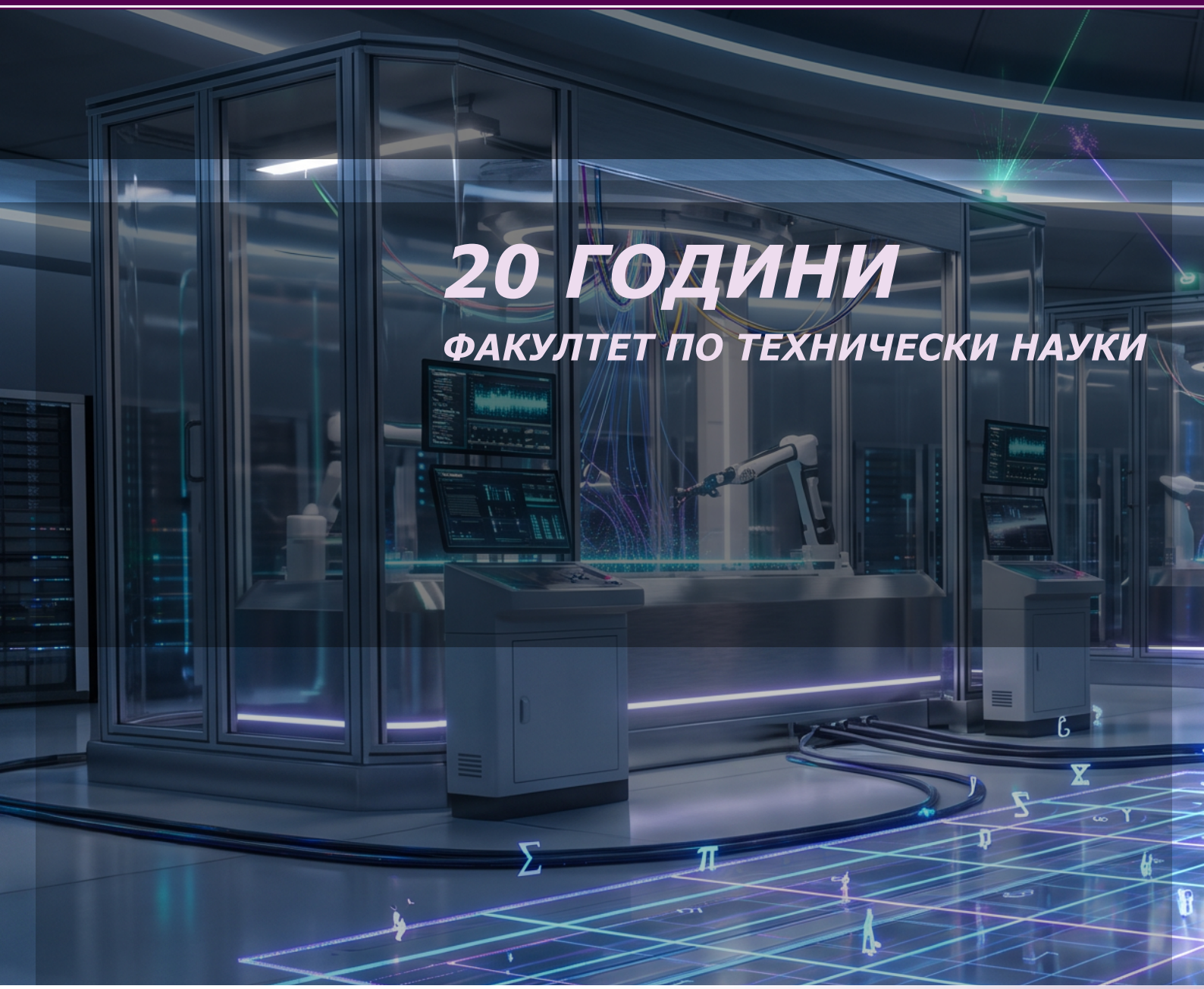
THE DIFFERENTIAL EQUATION – WHERE THE DERIVATIVE AND THE INTEGRAL MEET: AN INTEGRATED APPROACH TO TEACHING MATHEMATICS, PHYSICS, AND TECHNICAL SCIENCES, Gergana I. Manova, Irina I. Apostolova, Lyubomir E. Manov 340

ИНТЕЛИГЕНТЕН АНАЛИЗ И РЕКОНСТРУКЦИЯ НА ОПАСНИ КРЪСТОВИЩА ЧРЕЗ ИЗГРАЖДАНЕ НА КРЪГОВИ КРЪСТОВИЩА И ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ, Екатерина М. Христова, Цветослав С. Цанков 347

ЕМОЦИОНАЛНА САМОРЕГУЛАЦИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА ТРУДА ПРИ КОНФЛИКТИ В РАБОТНИЯ ЕКИП, Цветослав С. Цанков 358

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ДИНАМИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАН ПРОИЗВОДСТВЕН ПРОЦЕС, Валентин Г. Желязков, Айкут А. Ремзиев 372

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЛАТЕНТНОСТТА ПРИ ИЗПЪЛНЕНИЕ НА УПРАВЛЯВАЩИ АЛГОРИТМИ В РЕАЛНОВРЕМЕВА СИСТЕМА, Валентин Г. Желязков, Риза М. Ризаев 380



20 ГОДИНИ

ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ