ГОДИШНИК

НА ШУМЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ

„ЕПИСКОП КОНСТАНТИН ПРЕСЛАВСКИ“

Т. XV Е

ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

ANNUAL

OF KONSTANTIN PRESLAVSKY

UNIVERSITY OF SHUMEN

Vol. XV E

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Университетско издателство

„Епископ Константин Преславски“

Шумен, 2025

ISSN: 1314-8818 (print)
ISSN: 2815-4703 (online)
DOI: https://doi.org/10.46687/AN25FTN

ГОДИШНИК

НА ШУМЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „ЕПИСКОП КОНСТАНТИН ПРЕСЛАВСКИ“

Т. XV Е 2025

ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

ANNUAL

OF KONSTANTIN PRESLAVSKY UNIVERSITY OF SHUMEN

Vol. XV E 2025

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Университетско издателство
„Епископ Константин Преславски“

Настоящият годишник съдържа статии и студии за 2025 г. от Факултета по технически науки

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

проф. д-р инж. Събин Иванов Иванов
доц. д-р инж. Андрей Илиев Богданов
доц. д-р Здравко Юриев Кузманов
доц. д-р инж. Евгени Гришев Стойков
доц. д-р инж. Валентин Тонев Атанасов
доц. д-р инж. Доника Величкова Диманова
доц. д-р инж. Тихомир Спирдонов Трифонов
доц. д-р Йорданка Ивайлова Янкова-Йорданова
акад. проф. д-р инж. Цветослав Станиславов Цанков

Годишникът излиза от печат през февруари 2026 година.

© Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“

ISSN: 1314-8818 (print)
ISSN: 2815-4703 (online)
DOI: https://doi.org/10.46687/AN25FTN

СЪДЪРЖАНИЕ

ИСТОРИЧЕСКИ ПРЕГЛЕД НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИТЕ ИНСТРУМЕНТИ И ТЯХНАТА ЕВОЛЮЦИЯ, Мирем Е. Ниязи-Юсуф, Евгени Г. Стойков 7

ТЕОРИТИЧНИ ОСНОВИ И АРХИТЕКТУРЕН МОДЕЛ НА MODEL CONTEXT PROTOKOL ПРИ АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА МРЕЖОВИ КОНФИГУРАЦИИ, Мустафа Б. Узун 14

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НА ДИФЕРЕНЦИАЛНИТЕ УРАВНЕНИЯ В ЗАДАЧАТА ЗА ДВИЖЕНИЕ НА ДВЕ ТЕЛА В ГРАВИТАЦИОННО ПОЛЕ, Христо А. Христов 19

ЕДИН ПОДХОД ЗА ОЦЕНКА НА КОДОВИ АЛГОРИТМИ ПРИ WEB ПРИЛОЖЕНИЯ, Валентин Т. Атанасов 25

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ВИДЕОМОНТАЖ ЧРЕЗ ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ, Даниел Р. Денев 32

ИЗГРАЖДАНЕ НА МУЛТИСЕГМЕНТНА IP МРЕЖА С ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА ТРАФИКА И МРЕЖОВА ТРАНСЛАЦИЯ ЧРЕЗ QOS И NAT МЕХАНИЗМИ В CISCO PACKET TRACER, Даниел Р. Денев, Алекс Я. Данев 47

КИБЕРСИГУРНОСТ В МУЛТИМЕДИЙНИТЕ МРЕЖИ НА АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ, Даниел Р. Денев, Ивайло И. Петров 61

СМАРТ КОНТРАКТИ В ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ СИСТЕМИ С КРИПТОГРАФСКА СИГУРНОСТ И ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ДОГОВОРНОТО ПРАВО, Борислав С. Борисов 74

АНАЛИЗ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА МЕТОДИТЕ ЗА НЕДЕСТРУКТИВЕН КОНТРОЛ ПРИ ТЕХНИЧЕСКИ ПРЕГЛЕД НА СЪОРЪЖЕНИЯ ПОД НАЛЯГАНЕ, Александра П. Дочева, Даниел Р. Денев 84

ВИРТУАЛНА И ДОБАВЕНА РЕАЛНОСТ ЗА ОБУЧЕНИЕ В АВТОМАТИЗАЦИЯ И МРЕЖОВИ ТЕХНОЛОГИИ, Даниел Р. Денев, Петър Г. Сотиров 97

ДВУМЕРНА СИГНАЛНА ОБРАБОТКА И ФИЛТРИРАНЕ В ЦИФРОВИТЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ, Николета Н. Иванова, Михаела М. Михайлова 109

ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОМПЮТЪРНОТО ЗРЕНИЕ ПРИ РАЗПОЗНАВАНЕ НА ЧОВЕШКИ ЕМОЦИИ И ПОВЕДЕНИЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ, Гергана С. Николова 117

ЕФЕКТИВНОСТ И ПОРТИРУЕМОСТ НА ПАРАЛЕЛНИТЕ ИЗЧИСЛЕНИЯ ВЪРХУ ГРАФИЧНИ ПРОЦЕСОРИ С CUDA И OPENCL, Валентин Г. Георгиев, Милена Х. Пенева 125

ИНТЕГРАЦИЯ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ И ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ В СОЦИАЛНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАТА ПРАКТИКА, Стефания М. Червенкова, Даниел Р. Денев 134

ОБЛАЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОТОЧНО ВИДЕО НАБЛЮДЕНИЕ В ИНДУСТРИАЛНИ СИСТЕМИ, Емили К. Димитрова, Даниел Р. Денев 147

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОГРАМИРУЕМИ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ В РЕАЛНО ВРЕМЕННИ ИНДУСТРИАЛНИ АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ, Здравко А. Здравков, Емили К. Димитрова 160

СЪЗДАВАНЕ НА ГЕЙМИФИЦИРАНИ ПЛАТФОРМИ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО АВТОМАТИЗАЦИЯ И МРЕЖИ, Илкер А. Хатиб, Даниел Р. Денев..... 170

ПСИХОЛОГИЧЕСКИ ФАКТОРИ И ПОДГОТОВКА НА КАНДИДАТИТЕ ПРИ ПРАКТИЧЕСКИ ИЗПИТ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МОТОРНИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА, Цветослав С. Цанков 183

МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ЛИНЕЙНИ СТАЦИОНАРНИ СИСТЕМИ В ОБЛАСТТА НА ВРЕМЕТО И ЧЕСТОТАТА, Ана-Мария А. Горанова, Зейда О. Рамадан 210

АЛГОРИТМИЧНА И ВЕРОЯТНОСТНА РАМКА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА, АЛАРМИРАНЕ И РЕАКЦИЯ В РОБОТИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА ЗАЩИТА, ИЗПОЛЗВАЩИ ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ, Силвия Х. Николова . 216

СЪСТАВЯНЕ И ТОЧНОСТ НА ГРАВИМЕТРИЧНИТЕ КАРТИ, Красимира К. Кирилова, Кирил Ф. Янчев 226

ТЕОРЕТИЧЕН И СИСТЕМЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКРИВАНЕ И КОРИГИРАНЕ НА ГРЕШКИ В ЦИФРОВИТЕ КОМУНИКАЦИИ, Милен С. Давидков 232

НЕТРАДИЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ДОСТЪП ДО ИНФОРМАЦИЯ, РАЗПРОСТРАНЯВАНА ПО ФИЗИЧЕСКИ КАНАЛИ, Атанас И. Начев 239

ПОДХОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНАТА НАДЕЖДНОСТ НА КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ, Атанас И. Начев..... 247

ИНТЕЛИГЕНТНА АВТОМАТИЗИРАНА ПАРКИНГ ИНФРАСТРУКТУРА С ИНТЕГРИРАНИ AI СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТ, Силвия Х. Николова, Цветослав С. Цанков 256

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОТОКОЛА MCP ПРИ АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА МРЕЖОВИ КОНФИГУРАЦИИ, Мустафа Б. Узун 266

ИНЖЕНЕРНАТА ЕКОЛОГИЯ КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА УСТОЙЧИВО ПРОЕКТИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ, Йорданка И. Янкова-Йорданова 273

ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ В ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ОТ СПЕЦИАЛНОСТ „ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА“ – МЕЖДУНАРОДЕН КОНТЕКСТ И ТЕОРЕТИЧЕН МОДЕЛ, Йорданка И. Янкова-Йорданова 280

LEAN ENGINEERING В ЕРАТА НА ИНДУСТРИЯ 4.0: ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА УСИЛВАНЕ НА НЕПРЕКЪСНАТОТО ПОДОБРЕНИЕ, Климент С. Николов 286

ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА И ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ: МОДЕЛИ И ПРИЛОЖЕНИЯ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНИ ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ, Климент С. Николов 294

ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА И ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ: МОДЕЛИ, ДАННИ И ИНТЕГРАЦИОННИ ПОДХОДИ, Климент С. Николов 300

ИНЖЕНЕРЕН ПОДХОД ЗА ИНТЕГРИРАНЕ НА ESG ПРИНЦИПИТЕ В ЛОГИСТИЧНИТЕ СИСТЕМИ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ, Йорданка И. Янкова-Йорданова 308

ИНЖЕНЕРНИ МОДЕЛИ ЗА УСТОЙЧИВО УПРАВЛЕНИЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ, Николай Х. Йорданов ... 315

ИНЖЕНЕРНИ ПОДХОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА УСТОЙЧИВИ ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ В ПРОИЗВОДСТВОТО, Николай Х. Йорданов ... 321

КРИЗИСНА ЛОГИСТИКА В ЕПОХАТА НА НОВИТЕ ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ: РАМКА, ИНСТРУМЕНТИ И МОДЕЛ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ, Николай Х. Йорданов 326

ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА И НОВИТЕ ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ, Николай Х. Йорданов 332

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЛОГИСТИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ ЧРЕЗ ИНЖЕНЕРНИ МЕТОДИ, Николай Х. Йорданов 339

РАЗРАБОТВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА ДИАГНОСТИЦИРАНЕ НА ЗЕМЕДЕЛСКА ТЕХНИКА В СРЕДНО СТОПАНСТВО, Ангел М. Димитров, Андрей И. Богданов 344

УПРАВЛЕНИЕ НА ЛОГИСТИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ ПРИ ТЪРГОВИЯ С ГОРИВА, Асен А. Асенов 348

ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИЯ КОНТРОЛ ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА АЛУМИНИЕВИ ДЕТАЙЛИ, Калоян Х. Момчев....352

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЛОГИСТИЧНИТЕ ОПЕРАЦИИ, Никол Милушева.....356

ОЦЕНКА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ВЕРИГАТА ЗА ДОСТАВКИ НА „ЦБА“ ЕАД, Тонка С. Ганчева.....360

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ НА ПОЖАРИ, ПРИЧИНЕНИ ВСЛЕДСТВИЕ НА МЪЛНИЯ, Кристина К. Янчева.....363

ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОГРАФИЯ В КОНТЕКСТА НА НАЦИОНАЛНАТА СИГУРНОСТ, Мадлен А. Тодорова, Мирослав Н. Кацаров.....367

УПРАВЛЕНИЕ НА ЛИЧНАТА СИГУРНОСТ ПРИ ВЪЗНИКВАНЕ НА ИЗВЪНРЕДНИ СИТУАЦИИ: ПОДХОДИ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА, Мирослав Г. Петков.....378

ПСИХОЛОГИЧЕСКИ И ОРГАНИЗАЦИОННИ АСПЕКТИ НА ЛИЧНАТА СИГУРНОСТ, Мирослав Г. Петков.....386

ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА БЕЗЖИЧНИ МРЕЖИ С ГОЛЯМ КАПАЦИТЕТ, Драгомир И. Василев.....392

RESPONSIBLE GEODESY: ETHICAL AND SUSTAINABLE MODELS FOR THE DIGITAL TRANSFORMATION OF GEODESY, Ani A. Stefanova.....399

COGNITIVE LOAD AND BEHAVIORAL FACTORS IN THE ASSESSMENT OF MOTOR VEHICLE DRIVERS, Tsvetoslav S. Tsankov.....411

ИСТОРИЧЕСКИ ПРЕГЛЕД НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИТЕ ИНСТРУМЕНТИ И ТЯХНАТА ЕВОЛЮЦИЯ

Мирем Е. Ниязи-Юсуф, Евгени Г. Стойков

HISTORICAL OVERVIEW OF GEODETIC INSTRUMENTS AND THEIR EVOLUTION

Mirem E. Niyazi-Yusuf, Evgeni G. Stoykov

ABSTRACT: *The development of geodetic instruments reflects the continuous pursuit of accuracy in measuring and representing the Earth's surface. This paper presents a historical overview of the most significant stages in the evolution of geodetic equipment, beginning with the simple measuring tools of ancient civilizations, such as ropes, gromas, and water levels. The review continues through the Middle Ages and the Renaissance, when optical and astronomical devices–including the astrolabe, quadrant, and early sighting instruments–laid the foundations for systematic scientific measurements. The technological breakthroughs of the eighteenth and nineteenth centuries, marked by the emergence of precision theodolites, levels, and measuring baselines, contributed to the establishment of national geodetic networks. The transition to the twentieth century introduced advanced optical instruments, electro-optical distance meters, and the first total stations, fundamentally enhancing efficiency and measurement precision. Contemporary developments, including GNSS technologies, laser scanning, and unmanned aerial systems, have transformed geodesy into a highly digital and integrated discipline. The study emphasizes the relationship between technological innovation and the evolving role of the geodesist, demonstrating how historical progress underpins modern geodetic practice.*

KEYWORDS: *Geodesy, Geodetic instruments, Historical evolution, Theodolite, Leveling instruments, GNSS, Laser scanning, Total station, Measurement technologies, Surveying history*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MNE

Въведение

Геодезията е една от най-старите приложни науки, чиято основна цел е да измерва, описва и представя формата и размерите на Земята и нейните обекти. От дълбока древност до наши дни геодезистите използват различни инструменти, чрез които човечеството опознава пространството около себе си – от простото въже на египетските земемери до съвременните спътникови системи и лазерни скенери. Развитието на геодезическите инструменти винаги е било тясно свързано с технологичния напредък на обществото и с нуждата от по-голяма точност при измерванията.

Историческата еволюция на тези уреди отразява не само промяната в техническите възможности, но и в начина, по който човекът възприема и изобразява земното пространство. Познаването на този процес има важно значение за геодезическата наука днес, тъй като показва пътя от механичните и оптичните устройства до съвременните дигитални и сателитни технологии. Настоящият преглед има за цел да проследи основните етапи от развитието на геодезическите инструменти и да подчертае тяхната роля в усъвършенстването на измервателната практика и професията на геодезиста.

Началото на геодезическите измервания

Историята на геодезическите измервания започва още в дълбока древност, когато хората осъзнават необходимостта да измерват земята, за да я използват и управляват по-добре. Първите геодезически дейности били свързани с практични нужди – определяне на граници между земеделски имоти, изграждане на селища, храмове и канали. Така още древните египтяни, след ежегодните наводнения на река Нил, измервали отново земята, за да възстановят границите на обработваемите площи.

Най-простият инструмент от това време бил измервателното въже, изработено от лен или кожа, с което се определяли разстояния. Египетските земемери, наричани „стратопеди“, използвали и примитивни нивелири на водна основа за постигане на хоризонталност при строителство. В Древна Месопотамия се прилагали дървени и бронзови ъгломери, а по-късно гърците и римляните усъвършенствали тези уреди.

Гърците въвеждат диоптъра – оптичен инструмент, позволяващ по-прецизно определяне на посоки и ъгли, който се счита за предшественик на съвременния теодолит. Римляните използвали хоробат – уред за определяне на хоризонталност, полезен при изграждането на акведукти и пътища. Благодарение на тези инструменти се поставя основата на системните измервания, които по-късно ще се развият в самостоятелна научна дисциплина – геодезията.

Развитие през Средновековието и Ренесанса

След упадъка на античните цивилизации, геодезическите знания и инструменти се запазват основно в трудовете на гръцки и арабски учени. През Средновековието те намират приложение най-вече в архитектурата, военните дейности и навигацията. Макар развитието на нови инструменти да е по-бавно, именно през този период се появяват първите опити за използване на астрономически уреди при измервания на земната повърхност.

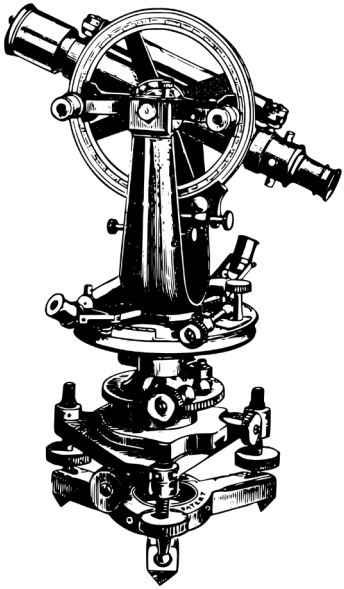
Арабските учени въвеждат астролабията – инструмент, с който се измерват височини на звезди и слънцето, използван както в астрономията, така и в ранната геодезия. В Европа този уред се разпространява през XIII–XIV век и поставя началото на използването на небесни тела за определяне на географски координати. Постепенно се появяват и квадрантът и сектантът, които позволяват по-точно измерване на ъгли и намират широко приложение в мореплаването.

Ренесансът носи със себе си нов подем в науката и техниката. През XV и XVI век започва използването на зрителна тръба, която по-късно ще стане основен

елемент на оптичните геодезически инструменти. Този период бележи прехода от емпирични и практични методи към по-научен подход в измерванията. Инструментите стават по-точни, а измерванията – систематични. Именно тогава геодезията започва да се обособява като самостоятелна наука, свързана с астрономията, картографията и навигацията.

Геодезическите инструменти през XVIII–XIX век

XVIII и XIX век са периодът, в който геодезията се превръща в модерна наука, основана на прецизни измервания и точни инструменти. Това време бележи появата на редица изобретения, които поставят началото на класическата геодезическа епоха.



Фиг. 1. *Теодолит*

Най-значимият напредък идва с усъвършенстването на теодолита – инструмент за измерване на хоризонтални и вертикални ъгли. През XVIII век английският инженер Джеси Рамсден конструира първия високоточен теодолит с разделителен лимб, който позволява измерване с изключителна прецизност.

Този уред става основен инструмент в националните триангулационни измервания, провеждани в много европейски страни.

Паралелно с това се развива и нивелирът, използван за определяне на разлики във височините. Първоначално той е бил прост телескоп с мехурче за хоризонтиране, но през XIX век се появяват прецизни нивелири с компенсатори и микрометри, които значително подобряват точността.

В същия период се усъвършенстват методите за измерване на разстояния. Металните и инварови мерни ленти заменят въжетата и веригите, което позволява по-точно определяне на базисни линии при геодезическите мрежи. Създават се и първите геодезически обсерватории, където се извършват едновременно астрономически и земни измервания за определяне на формата и размерите на Земята.

Тези постижения поставят основата на националните и континентални триангулационни системи, които служат като геодезическа основа за картографиране, инженерни дейности и научни изследвания. Инструментите от този период се отличават с високо качество на изработка и дълготрайност, като много от тях се използват и през първата половина на XX век.

Преходът към XX век – механизация и оптика

Началото на XX век бележи нов етап в развитието на геодезическите инструменти – период на механизация, усъвършенстване на оптиката и нарастваща прецизност на измерванията. Инженерните и научните нужди от по-висока точност и ефективност водят до значителни подобрения в конструкцията и функционалността на геодезическите уреди.

През този период на преден план излизат производителите на висококачествени оптични инструменти като Carl Zeiss (Германия), Wild (Швейцария) и Kern (Швейцария). Те разработват модерни теодолити и нивелири, които се отличават с компактност, стабилност и голяма точност. Използването на нови материали, като алуминиеви сплави и закалени стомани, прави инструментите по-леки и надеждни.



Фиг. 2. *Нивелир*

Едно от най-значимите постижения на този етап е въвеждането на електронния далекомер (EDM) през 50-те години на XX век. Той заменя класическите методи за измерване на разстояния с ленти и вериги, използвайки принципа на електромагнитните вълни. Това значително съкращава времето за работа и увеличава точността на измерванията.

В края на века настъпва нова революция с появата на тоталната станция – комбиниран инструмент, който съчетава функциите на теодолит и електронен далекомер. Тя позволява автоматично изчисляване на координати и запис на данни, което променя изцяло методологията на геодезическите измервания.

Така преходът към XX век може да се определи като епоха на преминаване от ръчни, механични измервания към оптични и електронни технологии, които поставят основата на съвременната геодезическа апаратура.

Съвременен етап – дигитализация и спътникови технологии

С навлизането на компютърните технологии и сателитните системи в края на XX и началото на XXI век геодезическите инструменти претърпяват истинска революция. Процесът на дигитализация променя не само формата на инструментите, но и начина, по който се събират, обработват и анализират геодезическите данни.

На първо място, тоталните станции се превръщат в напълно електронни и автоматизирани системи. Те измерват ъгли и разстояния с висока точност, а резултатите се записват директно в цифрова памет. Появяват се и роботизирани тотални станции, които могат да проследяват автоматично отражателя и да работят с минимално участие на оператора.



Фиг. 3. *Тотална станция*

Най-голямото постижение на съвременната геодезия е внедряването на спътниковите технологии – GPS и GNSS. Тези системи позволяват определяне на координати с сантиметрова точност навсякъде по света и в реално време. Геодезистите вече не зависят от междинна видимост между точки, което значително улеснява теренната работа.



Фиг. 4. *GNSS*

Паралелно с това бързо се развиват и лазерните скенери (LiDAR), които позволяват триизмерно заснемане на терена и обектите с висока точност и детайлност. В последните години все по-широко приложение намират и безпилотните летателни апарати (дронове), използвани за фотограметрични и топографски измервания. [12]

Комбинирането на GNSS, LiDAR и фотограметрия доведе до създаването на интегрирани геодезически системи, с които може да се изгради точен цифров модел на реалността. Днешните инструменти не само измерват, но и анализират, моделират и визуализират пространството в триизмерна среда. [3]

Така съвременната геодезия се превръща в високотехнологична дисциплина, в която традиционните инструменти са заменени от интелигентни цифрови системи, а геодезистът се превръща в оператор и анализатор на пространствена информация.

Заключение

Развитието на геодезическите инструменти през вековете ясно показва стремежа на човека към по-точно, по-бързо и по-ефективно измерване на земното пространство. От прости механични уреди като въжето и диоптъра, през класическите оптични инструменти на XVIII и XIX век, до съвременните цифрови и спътникови системи – геодезията винаги е била тясно свързана с технологичния напредък на обществото.

Днес геодезистът разполага с инструменти, които съчетават висока точност, автоматизация и възможности за обработка на огромни обеми данни. Развитието на изкуствения интелект, облачните платформи и 3D моделирането отваря нови хоризонти пред професията. В бъдеще геодезическите измервания ще стават все по-интелигентни, дистанционни и интегрирани с други инженерни и информационни системи.

Историческият поглед към еволюцията на геодезическите инструменти ни напомня, че всяко технологично постижение стъпва върху натрупания опит и знание от предходните поколения. Познаването на миналото не е само въпрос на любопитство, а основа за по-добро разбиране на съвременните технологии и тяхното развитие. Геодезията, като наука, продължава да се развива динамично – обединявайки традицията на прецизността с иновациите на дигиталната епоха.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бояджиев, Х. (2008). История на геодезията. София: Университетско издателство „Св. Климент Охридски“.

[2] Караджов, Г., Петров, К. (2012). Геодезически инструменти и технологии. София: УАСГ.

[3] Янчев, К. (2022). Лазерното сканиране - постижимата прецизност в областта на фотограметрията, дистанционното наблюдение и геодезията. Шумен: Университетско издателство "Епископ Константин Преславски"

[4] Димитров, И. (2010). Основи на геодезията. София: Техника.

[5] Милев, А. (2016). Развитие на геодезическите уреди от античността до съвременността. Сборник доклади – Научна конференция по геодезия, София.

[6] Кунев, В. (2005). Исторически аспекти на измервателната техника в геодезията. Списание „Геодезия, картография, земеустройство“, бр. 3, с. 15–22.

[7] Събев, П. (2018). GNSS технологии и тяхното приложение в геодезията. София: УАСГ.

[8] Пенев, Н. (1999). Геодезическите инструменти – от класическите уреди до цифровите технологии. Списание „Инженерна геодезия“, бр. 2, с. 8–14.

[9] Иванова, Р. (2020). Дигитализацията в съвременната геодезия – тенденции и предизвикателства. Списание „Наука и техника“, бр. 4, с. 27–33.

[10] Георгиев, В. (2015). Еволюция на геодезическите методи и тяхното влияние върху точността на измерванията. София: БАН.

[11] Маждраков, М., Иванова, И. (2014). Геодезия. Обща геодезия: Учебник за студентите по специалността „Геодезия“. Шумен: Унив. изд. „Епископ Константин Преславски“.

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

ТЕОРИТИЧНИ ОСНОВИ И АРХИТЕКТУРЕН МОДЕЛ НА MODEL CONTEXT PROTOKOL ПРИ АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА МРЕЖОВИ КОНФИГУРАЦИИ

Мустафа Б. Узун

THEORETICAL BASIS AND ARCHITECTURAL MODEL OF THE MODEL CONTEXT PROTOCOL IN AUTOMATED MANAGEMENT OF NETWORK CONFIGURATIONS

Mustafa B. Uzun

ABSTRACT: *This paper presents the theoretical foundations and architectural model of the Model Context Protocol (MCP) as an enabling framework for automated management of network configurations. MCP formalizes the representation, persistence, and exchange of contextual knowledge between AI-driven agents, automation controllers, and programmable network infrastructures. By introducing a context-centric abstraction layer, MCP bridges human intent, machine reasoning, and device-level execution, while preserving compatibility with established network management paradigms. The proposed architecture supports intent-based orchestration, closed-loop automation, and multi-vendor interoperability across heterogeneous environments. Emphasis is placed on the separation of concerns between context modeling, decision logic, and execution mechanisms, ensuring scalability, resilience, and operational safety. The analysis demonstrates that MCP constitutes a viable theoretical and architectural basis for next-generation, intelligent, and autonomous network configuration management systems.*

KEYWORDS: *Model Context Protocol (MCP), Intent-Based Networking (IBN), SDN (Software Defined Networking), AI (Artificial Intelligence), LLM (Large Language Model)*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MUA

Въведение

Бързият растеж на мащаба, хетерогенността и динамичното поведение на съвременните комуникационни мрежи поставиха фундаментално предизвикателство пред традиционните подходи към конфигурирането и управлението на мрежите. Ръчните, ориентирани към устройството методи, базирани на статични конфигурации и специфични за производителите интерфейси, са все по-неадекватни в среди, характеризиращи се с виртуализация, облачни архитектури и непрекъсната еволюция на услугите [1], [2]. В резултат на

това, автоматизираното и програмното управление на мрежови конфигурации, се очертават, като основни парадигми, използващи софтуерно-дефинираните мрежи Software-Defined Networking (SDN), управлявано от модели, и мрежи, базирани на намерения (IBN), за да намалят оперативната сложност и човешки грешки [3], [4].

Въпреки тези постижения, съществуващите рамки за автоматизация често страдат от ограничена контекстуална осведоменост, фрагментирана логика на управление и тясна връзка между механизмите за вземане на решения и слоевете за изпълнение. Работните процеси за автоматизация обикновено разчитат на предварително дефинирани сценарии или наръчници, на които им липсва семантично разбиране на състоянието на мрежата, оперативното намерение и историческия контекст, което ограничава адаптивността и устойчивостта в силно динамични сценарии [5]. Тази празнина става особено очевидна с нарастващото приемане на изкуствен интелект Artificial Intelligence (AI) и големи езикови модели Large Language Model (LLM) в мрежовите операции, където липсата на стандартизирани механизми за обмен на контекст ограничава тяхната ефективна и безопасна интеграция [6].

Протоколът за контекстно моделиране Model Context Protocol (MCP) се справя с тези предизвикателства, като въвежда формализиран, контекстно-ориентиран подход към автоматизираното управление на мрежовата конфигурация. MCP дефинира архитектурни абстракции и модели на взаимодействие, които позволяват постоянно представяне и контролиран обмен на контекстуални знания между AI агенти, контролери за автоматизация и програмируеми мрежови елементи [7]. Чрез разделяне на интерпретацията на намеренията, управлението на контекста и изпълнението, MCP се привежда в съответствие с установените принципи на SDN наслояване, като същевременно ги разширява със семантика, съобразена с AI [8].

1. Обща архитектура на MCP

MCP е стандарт с отворен код за свързване на приложения с изкуствен интелект с външни системи. Общата архитектура на модела е проектирана да осигури стандартизирана, разширяема и контекстно-центрирана рамка за интегриране на агенти, управлявани от изкуствен интелект, с външни системи, включително програмируеми мрежови инфраструктури. В основата си MCP следва логически многопластов клиент-сървър модел, който разделя интерпретацията на намеренията, управлението на контекста и изпълнението, като по този начин се привежда в съответствие с установените принципи на модулност и абстракция в архитектурите за мрежова автоматизация [1], [2]. Той може да се сравни, с USB-C порт поради това че може да свързва приложения с изкуствен интелект по стандартизиран начин към други външни системи [7] (Фиг. 1).

Архитектурата на MCP се състои от три основни компонента MCP хост, MCP клиент и MCP сървър. MCP хостът представлява средата за изпълнение, в която работят приложенията с изкуствен интелект и логиката на автоматизацията. Той е отговорен за управлението на жизнения цикъл, изолацията на сигурността, обработката на идентификационни данни и свързаността и може да бъде внедрен

като локален процес в специализиран сървър за автоматизация, облачна услуга или центрове за данни [7]. Концептуално, MCP хостът изпълнява роля, аналогична на контролната равнина в SDN, осигурявайки стабилен координационен слой, отделен от директния контрол на устройството [8].



Фиг. 1. *Обща архитектура на MCP*

MCP клиентът функционира като интелигентен посредник между разсъжденията, управлявани от изкуствен интелект, и операционните системи. Той интерпретира намерения, генерирани от човек или машина на високо ниво, разлага задачи и оркестрира взаимодействия с един или повече MCP сървъри. Чрез използване на структурирани контекстни модели, MCP клиентът позволява вземане на решение, чрез детерминистичен и одитираем начин, като същевременно остава агностичен към специфични за производителя интерфейси и протоколи [5].

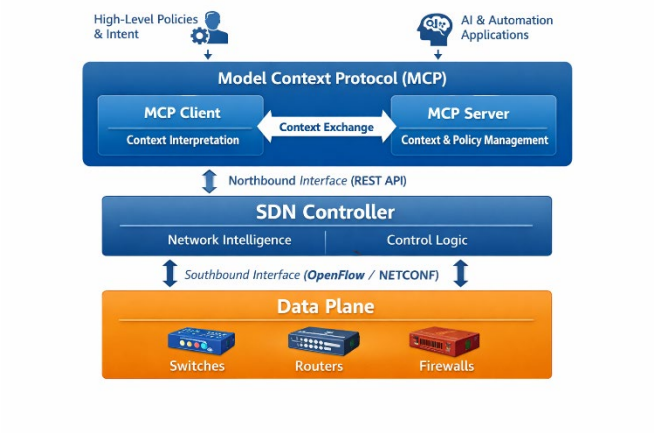
MCP сървърът предоставя контролиран достъп до инструменти, източници на данни и интерфейси за автоматизация, като текстово-базиран команден интерфейс CLI (Command Line Interface), NETCONF/RESTCONF API или платформи за оркестрация. Той налага политики за изпълнение, валидира входни данни и поддържа постоянно контекстуално състояние, описващо текущите, желаните и историческите системни условия [9]. Комуникацията между MCP клиентите и сървърите е независима от транспорта, поддържайки както локални междупроцесни механизми, така и сигурни мрежови протоколи, което позволява гъвкаво внедряване в разпределени среди.

Чрез това архитектурно разделяне на задачите, MCP позволява мащабируема, контекстно-осъзната и затворена автоматизация. Архитектурата предоставя теоретична и практическа основа за интегриране на AI разсъждения в управлението на мрежовата конфигурация, като същевременно запазва надеждността, проследимостта и оперативната безопасност в сложни мрежови среди с множество доставчици [10].

2. SDN архитектурен модел с MCP

Интегрирането на (MCP) в архитектурния модел на софтуерно дефинираните мрежи (SDN) разширява класическите принципи на SDN чрез въвеждане на слой за контекстно осъзнаване, който свързва човешкото намерение, разсъжденията, задвижвани от изкуствен интелект, и програмируемия мрежов контрол. Традиционните SDN архитектури отделят контролната равнина от равнината на данните, позволявайки централизиран контрол, глобална видимост и програмна конфигурация чрез стандартизирани интерфейси, насочени на юг и на север [3], [8]. Вземането на решения в конвенционалните SDN контролери обаче остава до голяма степен базирано на правила и зависимо от предварително дефинирани политики.

MCP допълва контролната равнина на SDN чрез вграждане на механизми за моделиране на контекста и интерпретация на намерения над и заедно с SDN контролера. В този модел намеренията на високо ниво, изразени от оператори или приложения от по-високо ниво, се обработват от MCP клиент, работещ в MCP хост среда. MCP клиентът преобразува тези намерения в структурирани, контекстно-осъзнати действия, като същевременно поддържа постоянно представяне на текущото състояние, желаното състояние, ограниченията и историческите промени [7]. Тази контекстуална абстракция позволява по-адаптивни и семантично информирани решения за контрол, отколкото традиционните SDN приложения (Фиг. 2).



Фиг. 2. *SDN архитектурен модел с MCP*

SDN контролерът продължава да функционира като авторитетна единица на контролната равнина, отговорна за поддържането на състоянието на цялата мрежа и налагането на поведение за пренасочване в равнината на данните чрез протоколи като OpenFlow, NETCONF или RESTCONF [4]. MCP не замества SDN контролера, а го допълва, като предоставя валидирани, обогатени с контекст контролни директиви. Това разделяне запазва архитектурната яснота на SDN,

като същевременно подобрява автоматизацията с помощта на разсъждения, подпомагани от изкуствен интелект, и механизми за обратна връзка със затворен цикъл [1].

Чрез вграждането на MCP в архитектурния модел на SDN, управлението на мрежата се развива към автономна работа, управлявана от намерения. Получената архитектура поддържа мащабируемост, оперативна съвместимост с множество доставчици и оперативна устойчивост, осигурявайки стабилна теоретична основа за програмируеми и самоадаптивни мрежови инфраструктури от следващо поколение [10].

3. Заключение

Чрез позициониране на MCP като контекстно-ориентирана абстракция, съобразена с SDN и принципите на мрежи, базирани на намерения, анализът демонстрира способността му да свързва човешките намерения, разсъжденията, задвижвани от изкуствен интелект, и детерминистичния мрежов контрол. Резултатите потвърждават, че MCP е стабилна основа за мащабируемо, устойчиво и автономно управление на мрежовата конфигурация.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Clemm A. Network Management Fundamentals. Cisco Press, 2006. ISBN 978-1587201370.

[2] Lowe S. et al. Network Programmability and Automation. O'Reilly Media, 2018. ISBN 978-1491931252.

[3] Kreutz D. et al. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. Proceedings of the IEEE, 2015.

[4] Cisco Systems. Intent-Based Networking Overview. Technical White Paper, 2019.

[5] Feamster N. et al. Automating Network Management. ACM SIGCOMM Tutorial, 2020.

[6] Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th edition, Pearson, 2021. ISBN 978-0134610993.

[7] OpenAI. Model Context Protocol – Server Concepts. Technical Documentation, 2024.

[8] RFC 7426. Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology. IETF, 2015. Available from: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7426.

[9] Bjorklund O. NETCONF and YANG. IEEE Communications Standards Magazine, 2021.

[10] Jain R. Closed-Loop Automation in Modern Networks. IEEE Press, 2020. ISBN 978-1119655538.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НА ДИФЕРЕНЦИАЛНИТЕ УРАВНЕНИЯ В ЗАДАЧАТА ЗА ДВИЖЕНИЕ НА ДВЕ ТЕЛА В ГРАВИТАЦИОННО ПОЛЕ

Христо А. Христов

LINEARIZATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE PROBLEM OF MOTION OF TWO BODIES IN A GRAVITATIONAL FIELD

Hristo A. Hristov

ABSTRACT: *In the present work, a method for linearizing the equations of motion in the two-body problem is presented. A new form of the equations of motion, referred to as the Hristov equations, is derived. The analytical form of these equations is given, and the structure of the nonlinear term is examined through the introduction of a nonlinear position-dependent function* $Hrst(r)$. *The domain of definition of the function* $Hrst(r)$ *is determined, and its range of variation is shown to be the interval* $(-\infty; 1)$, *which makes it possible, under certain conditions, to treat this function as a "small parameter".*

KEYWORDS: *ODE, Two body problem, Linearization, Linear part*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25HAH

Основни обозначения:

f – универсална гравитационна константа;

$Hrst(r)$ – нелинейна функция с аргумент разстоянието r между телата, т.е. функция на положението;

M_0 – означение за по–голямото тяло;

m_0 – масата на по-голямото тяло в системата от две небесни тела;

M – означение за по-малкото тяло;

m – масата на по-малкото тяло в системата от две небесни тела;

$\vec{r}$ – радиус вектор;

$r(x, y, z)$ – разстояние между центровете на две тела, което като число е винаги по-голямо от нула, $r(x, y, z) > 0$, за да има физически смисъл разглежданата задача. В случай, че $r(x, y, z) = 0$, то тогава задачата губи своя физически смисъл и не е предмет на настоящото изследване;

$\overrightarrow{\rho_0}$ – глобален радиус-вектор, свързващ началото на избрана координатна система с центъра на по-голямото небесното тяло;

$\vec{\rho}$ – глобален радиус-вектор, свързващ началото на избрана координатна система с центъра на по-малкото небесното тяло;

μ – гравитационен параметър на системата от две небесни тела. Този параметър приема следните значения в зависимост разглежданите физични (механични) модели:

$$\mu = \begin{cases} f.m_0 - \text{ движение на тяло по отношение на непод. грав. център (задача на Кеплер)} \\ f.(m_0 + m) - \text{движение на небесно тяло М по отношение на по} - \text{голямото тяло } M_o \\ f.\dfrac{m^3}{(m_0+m)^2} - \text{барицентр. движение на по} - \text{голямото тяло М около гравит. център} \\ f.\dfrac{m_0^3}{(m_0+m)^2} - \text{барицентр. движение на по} - \text{малкото тяло } M_0 \text{ около гравит. център} \end{cases}$$

Съкращения:

ИСЗ – изкуствен спътник на Земята
ОДУ – обикновено диференциално уравнение

1. Въведение

Небесната Механика е раздел от Физиката, който се занимава с изучаването на закономерностите при **механичното движение** на небесните тела (звезди, планети, астероиди, спътници и т.н.), които са подложени на въздействията на различни природни сили, предизвикващи тяхното движение. Физическа основа на класическата Небесната Механика е механиката на Исаак Нютон и теорията за пространството, времето и гравитацията, които са изложени в неговия класически труд [4]. Съществуващите теории се основават на описанието на постъпателно-въртеливото **механично движение** на небесните тела.

Към настоящия момент е прието твърдението [3], че „само на основата на теорията за движение на телата в Слънчевата система е било възможно да се създаде пространствено-времевата система за измерване, която е материализирана в Звездните каталози и Астрономическите годишници, и по този начин е фундамент на всички изследвания, които са свързани с пространствено – времеви измервания".

В Небесната механика за описанието движението на небесните тела в зависимост от конкретните условия на решаваната задача се използват различни **физически модели** на космическите обекти. Централно място обаче при изучаването на тези модели заема понятието ***материална точка*** – тяло, което притежава *маса* и *скорост*, и за което формата и вътрешната му структура не са от „съществено" значение за разглежданата задача. Например, разстоянията между Слънцето и големите планети (Сатурн, Юпитер, Уран и Нептун) са значително по-големи от техните собствени размери, и това дава възможност да ги разглеждаме при условията на решаваната задача като „материални точки".

2. Механо-математическо моделиране

Положението на „материална точка" – изобразяващо конкретен небесен обект, винаги се свързва с или се определя по отношение към, някой друг небесен обект (небесно тяло), който служи като **начало** (на координатна система) за

измерване на **разстоянията** (координатите). Свързвайки тази геометрична координатна система с метод за отчитане на времето (например „космически“ или друг вид часовник) получаваме пълна система за измервания. По този начин можем да определим **траекторията** на движение (орбитата) на небесно тяло (материална точка) като геометрично място на неговите положения за определен период от време. Математически (геометрически) това е **непрекъсната линия** – която описва („чертае“) „материалната точка“, при своето движение в пространството.

3. Обобщено уравнение за движение

3.1. Задача на Кеплер – задачата за движение на тяло около неподвижен гравитационен център

За този случай е изпълнено едно важно условие, а именно отношението $\frac{m}{m_0}$ да клони към нула, или $\frac{m}{m_0} \to 0$. Това важно условие на практика винаги е изпълнено, когато масата на едното от небесните тела е много по-голяма от масата на другото. В този случай отчитаме силата на привличане на гравитационния център (голямото тяло) и не отчитаме гравитационната сила на малкото тяло – считаме, че тя е пренебрежимо малка. Например: движението на Земята около Слънцето, на ИСЗ (сателит) около Земята и други подобни. В такива случаи движението на небесното тяло (Земята, Сателит) около гравитационния център (другото небесно тяло, което е и център на координатната система) се описва [2] от следното ОДУ във векторна форма:

$$\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3}\, r, \tag{1}$$

като за гравитационния параметър се получава: $\mu = f.m_0$,

В декартова координатна система това уравнение приема вида:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\frac{\mu}{r^3}\, x \\ \ddot{y} &= -\frac{\mu}{r^3} y \\ \ddot{z} &= -\frac{\mu}{r^3} z \end{aligned} \tag{2}$$

3.2. Движение на едно небесно тяло по отношение на друго небесно тяло

Този случай имаме движение на две небесни тела – едното от което е значително по-голямо от другото, и които си взаимодействат гравитационно. Необходимо е да отчетем гравитационното взаимодействие и на двете тела. Тогава гравитационния параметър [2] приема следния вид $\mu = f.(m_0 + m)$, като са в сила следните зависимости:

$$\begin{aligned} \vec{r} &= \vec{\rho} - \overrightarrow{\rho_0} \\ x &= X - X_0 \\ y &= Y - Y_0 \\ z &= Z - Z_0 \end{aligned} \tag{3}$$

Очевидно системата ОДУ в относителни координати запазват своята математическа структура, както в предишния случай и има промяна само във формулата за изчисляване на гравитационния параметър.

$$\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3}\,\vec{r} = -\frac{f.(m+m_0)}{r^3}\,\vec{r}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\frac{\mu}{r^3}\,x \\ \ddot{y} = -\frac{\mu}{r^3}y \\ \ddot{z} = -\frac{\mu}{r^3}z \end{cases} \tag{4}$$

3.3. Общ вид на уравнението

$$\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3}\,\vec{r}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\frac{\mu}{r^3}\,x \\ \ddot{y} = -\frac{\mu}{r^3}y \\ \ddot{z} = -\frac{\mu}{r^3}z \end{cases} \tag{5}$$

Както бе показано в предишните примери, трите вида движение могат да се сведат до едно диференциално уравнение, където само масовия параметър μ и координатите могат да бъде интерпретирани в зависимост от задачата, която се решава.

4. Получаване диференциалните уравнения за движение

Нека сега да прибавим от двете страни на полученото уравнение един и същ член $\mu.\vec{r}$, т.е. да добавим линеен член от двете страни на това уравнение. От физико – механична гледна точка това означава, че сме приложили две равни по големина и противоположни векторни сили в тази материална точка. Математическото им описание съответства на линеен член. В такъв случай получава:

$$\ddot{r} + \mu.\vec{r} = +\mu.\vec{r} - \frac{\mu}{r^3}\,\vec{r} \tag{6}$$

Нека сега да преобразуваме дясната страна на това диференциално уравнение, като приведем под общ знаменател изразите пред вектора. В този случай ще се получи:

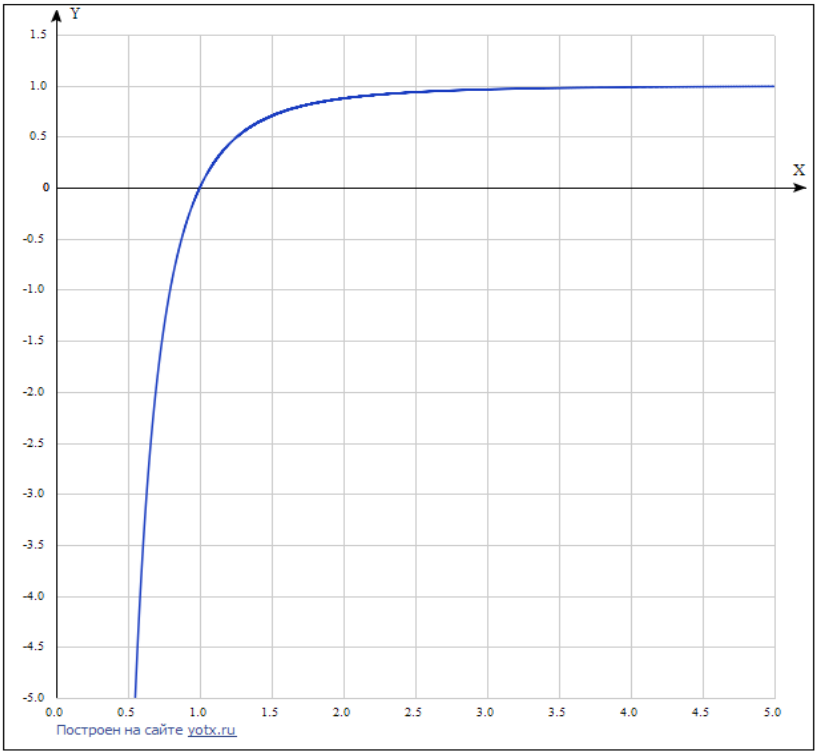
$$\ddot{r} + \mu.\vec{r} = +\mu.\left(\frac{r^3-1}{r^3}\right).\vec{r}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} + \mu.x = +\mu.\left(\frac{r^3-1}{r^3}\right).x \\ \ddot{y} + \mu.y = +\mu.\left(\frac{r^3-1}{r^3}\right).y \\ \ddot{z} + \mu.z = +\mu.\left(\frac{r^3-1}{r^3}\right).z \end{cases} \tag{7}$$

Ще въведем функцията $Hrst(r)$ – нелинейна функция с аргумент разстоянието r между телата, т.е. функция на положението. Нейният математически вид е:

$$Hrst(r) = f(r) = \frac{r^3-1}{r^3} \tag{8}$$

Графиката на тази функция е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. *Графика на функцията Hrst*

С така въведените означения можем да запишем (7) във окончателен вид:

$$\ddot{r} + \mu.\vec{r} = +\mu.Hrst(r).\vec{r}$$

$$\begin{vmatrix} \ddot{x} + \mu.x = +\mu.Hrst(r).x \\ \ddot{y} + \mu.y = +\mu.Hrst(r).y \\ \ddot{z} + \mu.z = +\mu.Hrst(r).z \end{vmatrix} \tag{9}$$

Системата (9) е автономна система ОДУ – уравнения на Христов.

5. Линеаризация на диференциалните уравнения за движение

Ако не разглеждаме дясната част на (9), то ще получим едно линейно векторно уравнение по отношение на координатите:

$$\ddot{r} + \mu.\vec{r} = 0$$

$$\begin{vmatrix} \ddot{x} + \mu.x = 0 \\ \ddot{y} + \mu.y = 0 \\ \ddot{z} + \mu.z = 0 \end{vmatrix} \quad (10)$$

6. Ограничения за функцията $Hrst(r)$ – нелинейна функция от разстоянието r

Дясната страна на уравнение (9) има „слабо“ нелинеен характер, защото тя представлява един линеен член умножен по функцията $Hrst(r)$ - нелинейна функция с аргумент разстоянието r. Тази функция има вид на правилна дроб, която е винаги по малка от 1, но по-голяма от 0, т.е. дефиниционното множество DM на функцията е:

А) за $\forall\, r \in (0;1)$ то $Hrst(r)\, \epsilon\, (-\infty;0)$

Б) за $r = 1$ то $Hrst(r) = 0$

В) за $\forall\, r \in (1,+\infty)$ то $Hrst(r)\, \epsilon\, (0;1)$

Първия случай (А) е характерен при много малки разстояния между телата или тялото и центъра на координатната система. В този случай $Hrst(r)$ има отрицателен знак и уравнението е автономно ДУ с отрицателна дясна част. В този случай тя може да се разглежда като отрицателна обратна връзка. Колкото по-малко е разстоянието, толкова са по-големи стойностите за $Hrst(r)$ по абсолютна стойност, по-силна е отрицателната обратна връзка.

Втория случай (Б) е граничен. При него се получава линейно ДУ от втори ред.

Третия случай (В) е класическия случай на задачата за движение на две тела. В този случай $Hrst(r)$ е ограничена в интервала от 0 до 1 без да приема граничните стойности. Тя може да се разглежда като „слабо“ нелинеен, свиващ оператор или малък параметър – ако например r = const.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. Наука. Москва. 1975 год.

[2] Лукьянов Л.Г. и Г.И. Ширмин. Лекции по небесной механике. Учебно пособие для ВУЗ-ов. Алматы. 2009 год.

[3] Субботин М. Ф. Введение в теоретичскую астрономию. Изд. Наука. Москва. 1968 год.

[4] И. Нютон. Математические начала натуральной философии. (на руски). 1687 год.

ЕДИН ПОДХОД ЗА ОЦЕНКА НА КОДОВИ АЛГОРИТМИ ПРИ WEB ПРИЛОЖЕНИЯ

Валентин Т. Атанасов

AN APPROACH TO EVALUATING CODE ALGORITHMS IN WEB APPLICATIONS

Valentin T. Atanasov

ABSTRACT: *Examining the impact of script-based code algorithms in WEB applications on the overall performance of the processors (central and graphics) executing these applications - accessed through client agents - has become a key area of interest, especially given the continuously expanding domain of human activities relying on such technologies. It is evident that there is limited development and availability of software tools and methodologies for assessing processor workloads based on defined timing indicators. The main factors that directly or indirectly influence processor load during the execution of WEB applications in a client environment (browser) include the execution of JavaScript code involving DOM and CSSOM manipulations, animation generation, event handling, computational processes related to DOM and CSS styles, multimedia data processing, network requests, and data synchronization (AJAX, WebSockets).*

KEYWORDS: *WEB applications, CPU load, JavaScript, Code Algorithms, DOM, CSSOM*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25VTA

Увод

Глобалното използване на WEB приложенията се разполага по нарастваща крива [1]. Разглеждайки функционирането на клиентските агенти (браузери) при изпълнение на скриптови кодове, може да се установи зависимост между натоварването на клиентския агент, респективно натоварването на централния процесор и/или графичния процесор. Съществен признак за подобно натоварване при изпълнението на дадено WEB приложение в клиентска среда е времето за извършване на определени операции от браузерните машини [2], [3]. Към подобен клас браузерни операции могат да бъде причислени - *изпълнението на JavaScript кодове, обхващащи ДОМ манипулации, генериране на анимации, обработка на събития, изчислителни процеси, свързани с ДОМ и CSS стилове, обработка на мултимедийни типове данни, мрежови заявки и синхронизация на данни (AJAX, WebSockets).*

В контекста на програмните езици разработването на скриптови кодове имат своята историческа посока, преминаваща през значително нарастване броя на WEB базирани платформи, използващи езици като JavaScript. Редица

специализирани статистически проучвания извеждат данни в доказателство за това обстоятелство, обхващащи както процесите, свързани с разработката, така и глобално разпределение на този език в икономически план. Тази тенденция при JavaScript бележи устойчив ръст [1], [4], [5]. Големи индустриални производители също се насочват към разработването и интегрирането на решения, основани на JavaScript [7].

Въпреки този възходящ показател, се установява се слабо развитие и представяне на програмни инструменти и подходи за оценка на процесорните натоварвания по дефинирани времеви показатели, представящи подходи за оценяване натоварването при изпълнение на програми със скриптови езици (JavaScript), основани на кодови алгоритми, и кодове с маркиращи езици (HTML, CSS)

Синтезиране на модел

Анализ на изискванията

В настоящата публикация ще бъде представена част от основния набор изисквания, ключови за функционалната характеристика на проектираното WEB приложение. За целите на дискусионния въпрос се приемат следните постановки:

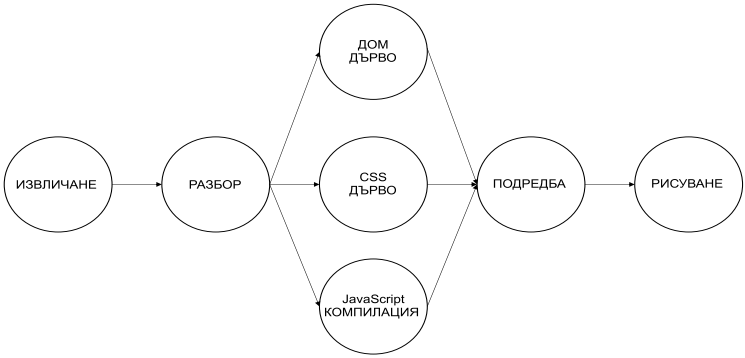
- Използване на документен обектен модел ДОМ(DOM) [8];
- Използване на каскадно-стилов наборен обектен модел CSSOM [9];
- Поточна линия от операции в браузер [10]:
    - Fetching – извличане на ресурса (HTML/CSS/JavaScript/изображения);
    - Parsing – превръщане на извлечения ресурс (HTML/CSS/JS) в структурирани токени и обекти;
    - DOM/CSSOM Construction – изграждане на двете основни дървовидни структури DOM/CSSOM;
    - Style Calculation – изчисляване на пълния набор от прилаганите върху елементите на ДОМ стилове;
    - Layout(reflow) – изчисляване на геометричното разположение и подребата на всеки съществуващ елемент в текущия ДОМ, дефинирано от CSS. В резулат е изградено Layout дърво;
    - Paint – изобразяване(рисуване) в растерен вид(ниво пиксел) на всеки изчислен елемент в Layout дървото;
    - Compositing – козпозиране на създаните слоевете на документа (z-order, opacity, clipping, GPU optimization).

Формираният набор от функционални изисквания към разработваното WEB приложение за оценка може да бъде обобщен по-долу:

- механизъм за независимо инжектиране на кодове;
- използване на метрики за производителност (performance);
- време за изпълнение на JavaScript;
- render време;
- layout време;
- reflow / repaint измервания;

- анализ за неоптимални ДОМ манипулации;
- време на асинхронни операции;
- графична визуализация на времената;
- системно логване;
- изолирано (sandbox) изпълнение в iframe

Обобщавайки последователността от основните операции в съвременния WEB браузер, може да бъде онагледен представеният поток от етапи, през които този браузер преминава (фиг. 1).



Фиг. 1. *Поток на етапите в съвременни WEB браузери*

След уточнение анализа на изискванията към разработваното WEB приложение и синтеза на концептуалния и функционалния модел, се пристъпва към изграждане на неговата архитектура.

Архитектура на WEB приложението

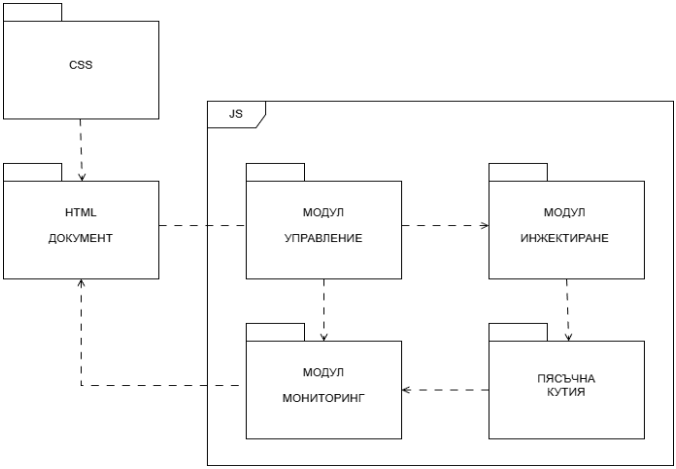
Архитектурата на разработването приложение следва функционалния му модел чрез изграждането на алгоритми, реализиращи следните основни характеристики:

- изпълнение на потребителски HTML и JavaScript код в sandbox iframe;
- изолиране на потребителски код;
- измерване на времето за:
  - зареждане на HTML и DOM;
  - изпълнение на JavaScript код.
- използване на performance.now();
- използване на setTimeout и setInterval;
- блокиране на Promise и fetch;
- обновяване в реално време;
- подходящ за микро-бенчмаркове;

- прихващане на console.log;
- възможност за спиране на динамичното обновяване на съдържание, изчистване и презареждане на виртуалната среда.

Следвайки тези характеристики, архитектурата ще представлява защитен мини JS Sandbox и Benchmarking tool в режим с ограничение на HTTP requests.

На фиг. 2 е представена синтезираната архитектура, чието описание се представя по-долу.



Фиг. 2. *Архитектура за WEB приложение за оценка на производителност*

Модул „Инжектиране“

Този модул ще изпълнява инжектиране на HTML и JavaScript кодовете в пясъчната кутия (sandbox/iframe). Данните ще се получават като входни данни от потребителя, който ще извършва оценяване на алгоритмите им.

Инжектирането ще се реализира чрез метода doc.write за инжектиране на HTML код в iframe. Чрез второто инжектиране на JavaScript код ще се създават <script> елементи и ще се добавя въведеният JavaScript код.

Основно свойство тук е създаване на предпоставка за изолация на инжектирания документ от основното тяло.

Модул „Мониторинг“

Модулът ще бъде отговорен за измерване производителността на изпълнявания код. Той ще следи за различни метрики като времето за изчисление, време за изпълнение на JavaScript, време за асинхронни операции, както и за манипулации на ДОМ (reflow, repaint).

Функционално ще се използва performance.now() за измерване на различни етапи на изпълнението (от фиг. 1).

Модул „Пясъчна кутия“

Модулът ще създава изолирана среда в пясъчна кутия за изпълнение на HTML и JavaScript код. Този подход ще осигурява безопасна изолация на изпълнявания код от основния документ, което ще гарантира, че изпълнението на код в пясъчната кутия няма да има ефект върху основния документ.

Функционално ще се добавя реализирането на съобщения към родителския документ за предаване на резултати и метрики.

Модул „Мониторинг“

Този модул ще отговаря за събиране, обновяване и визуализиране на статистическите данни, свързани с изпълнението на HTML и JavaScript кода. Той ще показва средно време за изчисление, изпълнение на JavaScript кодови функции, манипулации с DOM и други метрики.

Като основни функционалности са дефинирани:

- изчисляване средното време за различни операции;
- визуализиране на статистическите данни в графики (<canvas>);
- информиране на потребителя за прекомерни изчисления и неоптимизирани манипулации с DOM;
- други проблеми с производителността.

Модул „Управление“

В този модул ще се предоставя интерфейс за взаимодействие с потребителя, чрез който ще се осигуряват функционалности като стартиране, спиране, презареждане и изчистване на пясъчната кутия, както и показване на съобщения, предупреждения и резултати, като и инициализация на входните данни. Основен дял от оценка натоварването на процесора ще се реализира от алгоритъм, чиито код е представен на фиг. 3.

```
function checkDOMManipulations(jsCode) {
    const requestAnimationFrameRegex = /requestAnimationFrame\s*\(/;
    const setTimeoutRegex = /setTimeout\s*\(/;
    const domManipulationRegex = /(document\.|window\.)\s*
    (innerHTML|outerHTML|style|offsetHeight|offsetWidth|clientHeight|clientWidth|getBoundingCl
    ientRect|appendChild|removeChild|classList|setAttribute|removeAttribute|insertBefore|repla
    ceChild|textContent|setInterval|setTimeout|requestAnimationFrame|createElement|querySelect
    or|querySelectorAll|addEventListener|removeEventListener|cloneNode|focus|blur|scrollTo|scr
    ollBy|scroll|setTimeout|setInterval)\s*\(/;

    // Проверка дали кодът съдържа манипулации на DOM без оптимизации чрез
    requestAnimationFrame или setTimeout
    if (domManipulationRegex.test(jsCode) && !requestAnimationFrameRegex.test(jsCode) &&
    !setTimeoutRegex.test(jsCode)) {
        domManipulationFlag = true;  // Не е открита оптимизация на DOM манипулациите
        console.log('Препоръчва се използване requestAnimationFrame за анимации и setTimeout
        за асинхронни задачи.');
        updateStatsOutput();  // Обновяване на статистическите данни
    } else {
        console.log('Кодът не съдържа неоптимизирани манипулации с DOM или използва
        оптимизации като requestAnimationFrame/setTimeout.');
    }
}
```

Фиг. 3. *Алгоритъм за оценяване на процесорното натоварване и предотвратяване на излишни изчисления*

Функцията checkDOMManipulations(jsCode) ще има за цел да анализира инжектираният JavaScript код и да проверява дали той съдържа манипулации с ДОМ без използване на оптимизации чрез методи като requestAnimationFrame или setTimeout. Ако бъдат открити такива манипулации, функцията ще предупреди, че е необходимо използването на тези методи за подобряване на производителността и предотвратяване на излишни изчисления.

Заключение

С нарастващия ход в използване на WEB приложения и при това с изискванията на съвременното потребителското поколение, налагащо висока степен на интерактивност, анимации, връзки в реално време, бързодействие и широк набор от изходящи данни, се налага преди разгръщането на тези приложения в реална среда, кодовете на алгоритмите им да бъдат оценявани спрямо процесорното натоварване.

Един от предпочитаните методи за анимации при WEB приложенията е методът requestAnimationFrame. Този метод синхронизира изпълнението на анимациите с кадрите на браузъра и предотвратява многократни изчисления за даден кадър.

Друг полезен метод, във връзка с анимациите, е setTimeout. Той е полезен за асинхронни операции, които трябва да бъдат изпълнени след определено време, без да блокират основния поток на браузъра.

Без използване на тези методи манипулациите с ДОМ могат да доведат до излишни изчисления или т.н. повторна обработка, което може да забави изпълнението на приложението.

Реализирането на функционалности, предоставящи алгоритми за оценка на процесорното натоварване са ефективен и необходим подход в контекста на производителността. Управлението на манипулации с ДОМ, които могат да бъдат оптимизирани чрез използването на асинхронни механизми, би предоставило важна информация за подобряване производителността на WEB приложенията.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Xavier, H., S., The Web unpacked: a quantitative analysis of global Web usage, Proceedings of the 20th International Conference on Web Information Systems and Technologies – WEBIST, 2024, pp. 183-190, https://doi.org/10.5220/0012905900003825.

[2] MDN contributors, 2025, Populating the page: how browsers work, (https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Performance/Guides/How_browsers_work) (посетен на 09.12.2025).

[3] Crockford, D., Episode IV: The Metamorphosis of Ajax, 2018, (https://www.crockford.com/slides.html) (посетен на 09.12.2025).

[4] W3Techs, Web Technology Survey, Usage statistics of JavaScript as client-side programming language on websites, 2025,

(https://w3techs.com/technologies/details/cp-javascript?utm_source=chatgpt.com), (посетен на 09.12.2025).

[5] Most used programming languages among developers worldwide as of 2025, Statista, (https://www.statista.com/statistics/793628/worldwide-developer-survey-most-used-languages/), (посетен на 09.12.2025).

[6] Most popular technologies, Stack Exchange Inc., 2025, (https://survey.stackoverflow.co/2024/technology#most-popular-technologies-language-prof), (посетен на 09.12.2025).

[7] S7-1200 Programmable controller // Use of JavaScript, Siemens Ltd., (https://docs.tia.siemens.cloud/r/simatic_s7_1200_manual_collection_enus_20/web-server/constraints/use-of-javascript), (Посетен на 09.12.2025).

[8] Web Hypertext Application Technology Working Group, DOM //Living Standard – Last Updated 2 December 2025, (https://dom.spec.whatwg.org/) (посетен 10.12.2025).

[9] Mozilla Corporation, CSS Object Model (CSSOM), 2025, (https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/CSS_Object_Model), (посетен 10.12.2025).

[10] Mozilla Corporation, How browsers work, 2025, (https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Performance/Guides/How_browsers_work?utm_source=chatgpt.com) (посетен 10.12.2025).

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ВИДЕОМОНТАЖ ЧРЕЗ ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Даниел Р. Денев

AUTOMATION OF VIDEO EDITING THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Daniel R. Denev

ABSTRACT: *The automation of video editing using artificial intelligence is an innovative process that is transforming the way video content is created. Thanks to advances in areas such as computer vision, machine learning, and natural language processing, modern AI systems can independently analyze, select, and edit videos. These technologies are used in a variety of platforms and tools that significantly facilitate the work of video editors. Automated solutions allow for the quick and efficient creation of professional-quality videos, even by users without specialized skills. Among the main advantages of automation are saving time and resources, as well as the ability to quickly produce content for social networks, advertising, education, and journalism. However, AI still cannot fully replace human creativity and often faces challenges in recognizing context and emotions. With the development of generative artificial intelligence, the future of video editing looks even more promising. It is expected that fully completed videos will soon be created using only text instructions, which will open up new opportunities for creativity and mass accessibility.*

KEYWORDS: *Artificial intelligence, Automation, Video editing, Machine learning, Computer vision, Generative AI, Video processing, Media technologies, Editing software, Content creation*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25DDW

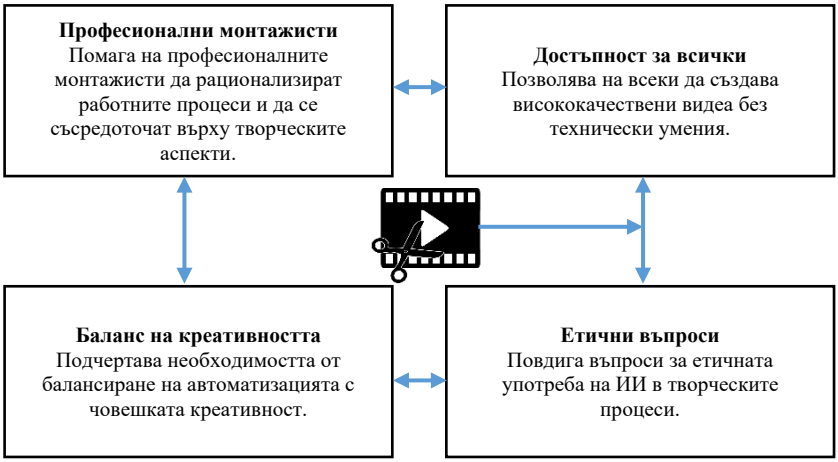
1. Въведение

Видеомонтажът е ключова част от създаването на всякакъв тип видео съдържание – от филми и реклами до образователни материали и видеа за социални мрежи. Традиционно това е процес, изискващ технически умения, креативност и значително време за обработка, селекция на кадри, добавяне на ефекти и финализиране. С развитието на технологиите обаче, този процес започва да се променя фундаментално.

Изкуственият интелект (ИИ) навлиза все по-дълбоко в сферата на медиите и дигиталното творчество. През последните години ИИ системи започнаха да се използват не само за анализ и препоръки на съдържание, но и за директна намеса в креативния процес. Една от най-иновативните насоки е автоматизацията на видеомонтажа – процес, при който софтуер, задвижван от ИИ, самостоятелно

анализира видеофайлове, подбира подходящи кадри, изрязва, добавя преходи, ефекти, субтитри и дори музика. Тези технологии не само облекчават работата на професионалните монтажисти, но и демократизират достъпа до видеосъздаване. Днес всеки, независимо от техническата си подготовка, може с помощта на автоматизиран софтуер да създаде видео със сравнително високо качество – само с няколко клика или чрез въвеждане на кратка текстова инструкция. [3], [10], [12]

Развитието на автоматизирания видеомонтаж бележи нов етап в съчетанието на технологии и изкуство. То поставя нови въпроси за бъдещето на професиите в медийната индустрия, за етичната употреба на ИИ в творческия процес и за баланса между автоматизацията и човешката креативност. В тази статия ще разгледаме основните технологии, предимства, предизвикателства и приложения на тази иновативна практика. На фиг. 1 е показана структурна схема по процеса автоматизация на видеомонтажа.

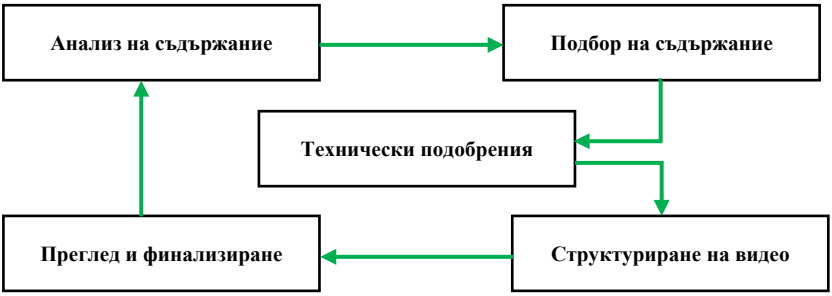


Фиг. 1. *Автоматизация на видеомонтажа*

2. Функционална структура на автоматизирания видеомонтаж

Автоматизираният видеомонтаж е процес, при който видеосъдържание се редактира, организира и финализира чрез използване на алгоритми, задвижвани от изкуствен интелект. Вместо ръчното изрязване, подреждане на клипове, добавяне на преходи, музика и текст, софтуерът анализира видеоматериалите и самостоятелно взема решения как най-добре да бъде структуриран готовият продукт. Процесът започва с автоматичен анализ на аудиовизуалните елементи – ИИ разпознава лица, обекти, действия, тон на гласа, дори емоции в израженията на хората. След това алгоритмите преценяват кои части от видеото са най-смислени, информативни или въздействащи, в зависимост от зададената цел – например дали се търси динамичен рекламен клип, спокоен образователен видеоматериал или емоционално интервю. [4], [8], [15]

Освен подбор на съдържание, ИИ може да извършва и технически задачи като стабилизиране на изображението, балансиране на цветовете, автоматично създаване на субтитри чрез разпознаване на реч и дори премахване на шум или нежелани звуци от фоновия запис. В някои платформи се използват и предварително обучени шаблони (т.нар. шаблони), които позволяват автоматично структуриране на видеото спрямо жанра или целта му. Някои усъвършенствани ИИ системи вече могат да обработват и големи обеми видеосъдържание – например часове записи от събития, конференции или интервюта – и да ги свеждат до кратки, смислени откъси само за минути. Това е особено ценно за създатели на съдържание, новинарски екипи или маркетинг специалисти, които имат нужда от бързи резултати без компромис с качеството. Автоматизираният видеомонтаж не цели да замени напълно човешкия труд, а по-скоро да поеме повтаряемите и технически етапи от процеса, като остави повече пространство за творчески решения и финален контрол от страна на монтажиста. Това го прави мощен инструмент в ръцете както на професионалисти, така и на аматьори. На фиг. 2 е показан цикълът по автоматизиране на видеомонтаж.



Фиг. 2. *Цикъл на автоматизиран видеомонтаж*

3. Основни ИИ технологии и тяхната роля във видеоредакцията

Автоматизираният видеомонтаж е възможен благодарение на съвкупност от технологии, които заедно изграждат интелигентни системи за обработка на видео съдържание. В основата на тези системи стоят достижения в областта на изкуствения интелект, които позволяват на машините не само да разпознават и обработват информация, но и да взимат решения, които преди това са били изцяло в прерогатива на човека. Комбинацията от машинно обучение, компютърно зрение и обработка на естествен език позволява на софтуера да интерпретира съдържание от видео, аудио и текстови източници. Благодарение на това, автоматизираните системи могат да извършват сложни действия като разпознаване на ключови събития, анализ на изражения на лицата, определяне на подходящи кадри и дори създаване на логически наратив.

В допълнение към анализа и разпознаването на съдържание, модерните ИИ системи използват генеративни технологии, чрез които могат да добавят нови елементи към видеото – като текст, музика, визуални ефекти или анимирани

преходи. Това разширява възможностите на видеомонтажа отвъд обикновената автоматизация и навлиза в сферата на съвместното творчество между човек и машина. По-долу са представени основните технологични компоненти, които изграждат съвременните автоматизирани системи за видеомонтаж. [1], [6], [11]

— ***Компютърно зрение***

Компютърното зрение е една от най-важните технологии в основата на автоматизирания видеомонтаж. То позволява на алгоритмите да анализират и разбират визуална информация от видеоматериали. Системите, базирани на компютърно зрение, могат да разпознават и категоризират обекти, лица, жестове, пейзажи и дори действия в реално време. Това е от съществено значение за идентифициране на значими кадри и за автоматично изрязване на ненужни или дублиращи се сцени. Прилагането на компютърно зрение дава възможност за автоматично подреждане на кадрите според тяхната визуална значимост. Например, при интервюта системата може да открива моментите, когато говори определен човек, и да фокусира видеото върху него. В рекламни или спортни видеа алгоритмите могат да изолират най-динамичните сцени. Това води до повишена ефективност и визуална последователност в крайния продукт. [5], [9]

— ***Машинно обучение***

Машинното обучение е метод за обучение на алгоритми чрез анализ на големи обеми данни, с цел разпознаване на закономерности и оптимизиране на взиманите решения. В контекста на видеомонтажа това означава, че системите могат да се „учат“ кои типове съдържание обикновено се считат за интересни, как се структурира една история, както и какви предпочитания има конкретна аудитория. Обучението може да се извършва с помощта на ръчно етикетирани данни или чрез наблюдение на вече монтирани видеа. Алгоритмите, базирани на машинно обучение, с времето повишават точността и ефективността на автоматизацията. Например, след като анализират хиляди видеа, те могат да започнат да прилагат стилови шаблони – например да знаят кога да вмъкнат бързи преходи, музикален фон или забавено движение. Това дава възможност за създаване на видеа със запомняща се структура и по-добро въздействие върху аудиторията.

— ***Обработка на естествен език***

Обработката на естествен език (NLP) е съществен компонент при взаимодействието между човека и машината. В автоматизирания видеомонтаж тя позволява преобразуване на реч в текст и обратно, както и разбиране на смисъла на текстови инструкции. Например, системата може да генерира субтитри автоматично, базирайки се на аудиозаписа от видеото, или да изпълни команда като „създай трейлър с най-емоционалните моменти“ чрез анализ на речта и текста. Освен разпознаване на реч, NLP подпомага автоматичното озвучаване (text-to-speech) с помощта на синтетични гласове, които звучат все по-естествено. Това е особено полезно при създаване на видеа за социални мрежи, образователно съдържание или маркетинг материали. Чрез NLP потребителят може да взаимодейства с видеоредактора чрез писмена или устна комуникация, без да използва сложен софтуер или ръчно редактиране.

— ***Генеративен изкуствен интелект***

Генеративният изкуствен интелект представлява ново ниво на автоматизация, при което системата не просто обработва съществуващи данни, а създава нови. При видеомонтажа това може да включва автоматично създаване на фонове, добавяне на анимации, ефекти, или дори създаване на кадри, които не са били част от оригиналния материал. Такива възможности се използват за повишаване на естетическата стойност на видеото и за придаване на индивидуален стил. Генеративните модели, като тези на базата на невронни мрежи (например GANs), могат да адаптират видеа към различни платформи и формати, да създават аватари или виртуални водещи, и да персонализират съдържанието според конкретната аудитория. Това отваря нови хоризонти в креативната индустрия, където границата между реално заснетото и изкуствено генерираното видео съдържание става все по-тънка. На фиг. 3 са показани технологии позволяващи автоматизиран видеомонтаж. [2], [7], [14]



Фиг. 3. *Технологии позволяващи автоматизиран видеомонтаж*

— ***Разпознаване на реч и синтез на глас***

Разпознаването на реч (speech-to-text) позволява автоматичното превръщане на аудио в писмен текст, което е изключително полезно за създаване на субтитри или транскрипции. Това е особено важно за достъпност на съдържание, SEO оптимизация и многоезична поддръжка. Системите за разпознаване на реч могат също така да бъдат използвани за идентифициране на различни говорители или за анализ на интонацията, което спомага за определяне на емоционалния тон на видеото. Обратно, синтезът на глас (text-to-speech) дава възможност генерираният текст да бъде озвучен с помощта на реалистични, изкуствено създадени гласове. Това се използва при автоматично генерирани видеа, в които няма записан звук, или при създаване на видеа на различни езици. Комбинацията от тези две технологии разширява значително възможностите на автоматизирания видеомонтаж, правейки го по-достъпен и адаптивен за глобална публика.

4. Приложения и реални примери за автоматизиран видеомонтаж

Автоматизираният видеомонтаж, задвижван от изкуствен интелект, намира все по-широко приложение в разнообразни сектори – от професионалната филмова индустрия до масовото създаване на съдържание в социалните мрежи. Технологията позволява значително съкращаване на времето за обработка, намаляване на човешкия труд и подобряване на производствената ефективност, особено в условия на нарастващо търсене на мултимедийно съдържание. С помощта на ИИ решения за монтаж, създателите на съдържание могат да автоматизират редица процеси, включително изрязване на клипове, добавяне на преходи, подбор на музика, синхронизиране със субтитри и дори разказване на истории. Някои от най-успешните приложения са в маркетинга, новинарските агенции, образователните платформи и платформите за кратки видеа като TikTok и YouTube Shorts. [7], [13]

В допълнение, напредъкът на генеративните технологии и възможностите за персонализация чрез машинно обучение създават условия за нов тип видеопродукция – такава, която се адаптира към индивидуалните интереси на потребителя. В реални проекти това се изразява в създаване на хиляди версии на едно и също видео, насочени към различни целеви групи, което не би било възможно без автоматизация. В тази част са разгледани няколко конкретни области, в които ИИ-базираният автоматизиран монтаж се прилага с висока ефективност, както и примери за реални платформи и софтуерни решения, които демонстрират потенциала на технологията.

— ***Създаване на съдържание за социални мрежи***

Една от най-популярните области за приложение на автоматизирания видеомонтаж е създаването на кратки и атрактивни видеа за социални мрежи. Системи като Pictory, Lumen5 и Magisto позволяват на потребителите да генерират видеа от текстови описания, шаблони или съществуващи клипове, като автоматично добавят музика, надписи и визуални ефекти. Това дава възможност на маркетолози, блогъри и малки бизнеси да произвеждат професионално изглеждащо съдържание без необходимост от опит в монтажа. Използването на ИИ при тези платформи води до автоматично откриване на най-важните моменти от дълги видеа, генериране на акценти и адаптиране на съдържанието към различни формати – вертикално видео, квадратно или хоризонтално. Това е особено ценно за платформи като TikTok, Instagram Reels и YouTube Shorts, където скоростта и креативността са от ключово значение.

— ***Новинарска и журналистическа продукция***

В сферата на новините, автоматизираният видеомонтаж значително ускорява производството на кратки видео репортажи и обобщения. Платформи като Wibbitz и Kamua използват ИИ, за да съкратят часове записан материал в едноминутни видеа с ключови моменти, придружени от текстови надписи и визуални акценти. Това позволява на новинарски екипи да реагират почти в реално време на събития, без да жертват качеството на съдържанието. Допълнително, системите за разпознаване на реч автоматично транскрибират

изказванията на интервюирани лица, което улеснява създаването на субтитри и текстови акценти. Журналистическите организации използват тези инструменти не само за по-бърза работа, но и за по-достъпно представяне на информацията за хора с увреждания или за аудитории, които предпочитат четенето пред слушането.

— ***Образование и онлайн обучение***

Автоматизираният видеомонтаж намира широко приложение в сферата на електронното обучение, където се използва за създаване на структурирани видеоуроци, обобщения на лекции и визуални ръководства. Платформи като Synthesia и Veed.io позволяват генериране на образователно съдържание чрез въвеждане на текст, който бива изговорен от аватар или синтетичен глас, а видеото се оформя автоматично според тематиката. Тези технологии дават възможност на преподаватели, обучители и институции да произвеждат висококачествени видеа без нужда от скъпо оборудване или експертен софтуер. В същото време автоматичната сегментация и добавянето на интерактивни елементи (тестове, ключови термини, бележки) правят обучителния процес по-динамичен и адаптиран към различни стилове на учене.

— ***Маркетинг и рекламни кампании***

В маркетинга автоматизираният видеомонтаж се използва за бързо създаване на персонализирани видеа, адаптирани към различни аудитории. Чрез използване на данни за поведение на потребителите, системи като Veed, Rocketium и Adobe Premiere Pro с ИИ-помощници създават видеа, които автоматично се персонализират спрямо интересите на всеки клиент – например чрез включване на индивидуално име, продукт или предпочитан стил. Тези технологии са особено ефективни в кампании с голям обхват, където се налага генериране на стотици версии на едно и също рекламно послание. ИИ оптимизира и времето на публикуване, избира визуални стилове спрямо платформата и дори прогнозира кои варианти ще имат най-висока ангажираност. Така рекламните екипи могат да се фокусират върху стратегията, докато ИИ поема оперативната продукция. Таблица 1 показва приложения на автоматизиран видеомонтаж. [8]

○ *Изчисляване на икономия на време*

Изчисляването на намаленото време за монтаж чрез ИИ се осъществява по формула:

$$\text{Спестено време}(\%) = \left(\frac{\boldsymbol{T}_{\text{преди}} - \boldsymbol{T_c Ai}}{\boldsymbol{T}_{\text{преди}}}\right) \quad (1)$$

Пример:

Ако монтажът преди ИИ е отнемал 3 часа (180 мин), а с ИИ – 30 минути:

$$\left(\frac{180-30}{180}\right).100 = 83,3\% \quad (2)$$

○ *Изчисляване на икономия на разходи*

Изчисляването за икономия на разходите чрез ИИ се осъществява по формула:

$$\text{Икономия}(\%) = \left(\frac{C_{\text{ръчно}} - C_{AI}}{C_{\text{ръчно}}}\right) \quad (3)$$

където:

$C_{\text{ръчно}}$ е стойността при традиционен монтаж (в пари или човекочасове)

C_{AI} е стойността с използване на ИИ

○ *ROI от използване на ИИ инструменти*

В маркетинга и рекламата често се ползва формула за възвръщаемост на инвестицията (ROI):

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Ползи} - \text{Инвестиции}}{\text{Инвестиции}}\right).100 \quad (4)$$

Пример:

Ако автоматизацията е спестила 1000 лв от труд, а абонаментът за ИИ е струвал 200 лв:

$$\left(\frac{1000-200}{200}\right).100 = 400\% \quad (5)$$

Таблица 1. *Приложения на автоматизиран видеомонтаж чрез изкуствен интелект в различни сектори*

Област на приложение	Средно време за монтаж (преди ИИ)	Средно време за монтаж (с ИИ)	Намаление на разходи (%)	Популярни ИИ платформи	Особености и ефекти от автоматизацията
Социални мрежи	2–3 часа	15–30 минути	~70%	Pictory, Lumen5, Magisto	Автоматични изрязвания, адаптивни формати, подбор на музика и надписи
Новинарска продукция	3–5 часа	20–40 минути	~65%	Synthesia, Veed.io	Генериране на кратки репортажи, автоматични субтитри, текстови акценти
Образование и онлайн обучение	4–6 часа	30–45 минути	~60%	Synthesia, Veed.io	Автоматични аватари, интерактивни елементи, сегментиране на съдържание

— ***Анализ на ефективност***

С цел по-добро разбиране на предимствата от използването на изкуствен интелект при видеомонтажа, могат да се приложат базови количествени анализи. Чрез изчисления на спестено време, намалени разходи и възвръщаемост на инвестицията (ROI) се доказва ефективността на автоматизираните решения в реална среда. Например, съкращаването на времето за монтаж с над 80% позволява по-бърза продукция на съдържание, докато намалените оперативни разходи водят до значителна икономия на ресурси. Тези изчисления не само онагледяват ползите, но и служат като база за обосноваване на интегрирането на ИИ в стратегически производствени процеси.

5. Предимства и ограничения на автоматизирания видеомонтаж с изкуствен интелект

Въпреки че автоматизираният видеомонтаж чрез изкуствен интелект бележи бърз напредък, той не е лишен от своите предизвикателства и граници. За да се разбере потенциалът и въздействието на тази технология в пълния ѝ контекст, е необходимо да се анализират както предимствата, така и съществуващите ограничения при нейното прилагане. Този балансиран подход е особено важен за организациите, които обмислят внедряване на подобни системи в своите работни процеси. Сред ключовите предимства са повишената ефективност, възможността за мащабиране на продукцията, достъпността за непрофесионалисти и намаляване на разходите. Използването на ИИ дава възможност за автоматично структуриране на съдържанието, добавяне на ефекти, синхронизиране на звук и дори генериране на персонализирани видеа с минимална човешка намеса. Това значително променя производствения цикъл, като прави видеосъдържанието по-достъпно от всякога. От друга страна, съществуват редица ограничения, които следва да се отчетат. Сред тях се открояват липсата на творчески нюанс в крайните резултати, зависимостта от качеството на обучаващите данни, както и потенциалните етични и правни рискове при използването на синтетично генерирано съдържание. Това поражда въпроси относно автентичността, оригиналността и отговорността при използването на автоматизиран ИИ монтаж в обществени и търговски контексти. Настоящата точка изследва тези аспекти в дълбочина чрез разделянето им на две основни групи – предимства и ограничения. Целта е да се предостави цялостна картина, която да подпомогне по-информирани решения при използването на такива технологии в различни сектори. [10], [11]

— ***Предимства на автоматизацията***

Едно от най-значимите предимства на автоматизирания видеомонтаж е драстичното съкращаване на времето, необходимо за създаване на видеосъдържание. Чрез използване на алгоритми за разпознаване на лица, реч, обекти и действия, системите автоматично идентифицират най-релевантните моменти, което елиминира нуждата от ръчно преглеждане на часове суров материал. Това е особено полезно в новинарската продукция, образованието и социалните мрежи, където скоростта на публикуване е от решаващо значение. Друг важен аспект е достъпността – платформи, базирани на ИИ, позволяват на хора без професионални умения да създават визуално впечатляващи видеа. Освен това, автоматизацията спомага за мащабиране на продукцията, тъй като едни и същи шаблони и алгоритми могат да бъдат приложени върху хиляди видеа, адаптирани според нуждите на аудиторията. Това позволява както на малки бизнеси, така и на големи корпорации да произвеждат съдържание с по-ниски разходи и по-висока продуктивност.

— ***Ограничения и предизвикателства***

Въпреки множеството ползи, автоматизираният видеомонтаж страда от редица ограничения, най-значимото от които е липсата на креативност и нюанс, присъщи на човешкия монтажист. Алгоритмите следват предварително зададени

модели и трудно улавят художествени решения, свързани с емоционален тон, културен контекст или стилова индивидуалност. Това може да доведе до видеа, които са технически коректни, но естетически плоски или неспособни да предизвикат ангажираност. Освен това съществуват сериозни етични и правни предизвикателства. Генерирането на съдържание от ИИ повдига въпроси за авторско право, манипулация на информация (например deepfake технологии) и прозрачност на източниците. Надеждността на ИИ-системите също е под въпрос при обработка на чувствителна информация или при използване на некачествени или ограничени обучителни данни, които могат да доведат до пристрастия и неточности.

Таблица 2 показва сравнителен анализ на предимства и ограничения при използване на ИИ за видеомонтаж.

Таблица 2. *Сравнителен анализ на предимства и ограничения при използване на ИИ за видеомонтаж*

Показател	Стойност / Оценка	Категория
Средно съкратено време за монтаж	до 80% спрямо ръчен процес	Предимство
Ниво на техническа достъпност за непрофесионалисти	Високо (платформи с UI без нужда от обучение)	Предимство
Способност за мащабиране на продукцията	Много висока – автоматично генериране на стотици видеа	Предимство
Креативна гъвкавост и художествен контрол	Ниска – ограничена от алгоритмични шаблони	Ограничено
Рискове от етични и правни проблеми	Умерени до високи (deepfakes, авторство)	Ограничено

6. Бъдещи тенденции в автоматизацията на видеомонтаж чрез изкуствен интелект

Автоматизацията на видеомонтажа чрез ИИ навлиза в нов етап на развитие, в който ключовата роля се поема от генеративните модели, мултимодалните системи и персонализираното съдържание. Напредъкът в изчислителните мощности и достъпът до огромни обеми данни позволяват обучение на все по-съвършени алгоритми, способни да анализират, синтезират и създават видео съдържание почти наравно с човешки експерти. Очаква се в близките години системите за видеомонтаж да придобият по-голяма „творческа“ автономия, като започнат да предлагат не само структурно адекватни, но и емоционално и визуално въздействащи варианти на видеа. Това включва автоматична преценка за ритъм, цвят, музикална тоналност и наративна логика. В този контекст изкуственият интелект се приближава не просто до асистент, а до съавтор в творческия процес. Паралелно с технологичния прогрес, нараства интересът към интегриране на видеомонтажни ИИ инструменти в „low-code“ и „no-code“ платформи, което ще направи създаването на висококачествени видеа още по-достъпно. Това ще бъде от особена полза за маркетинг специалисти, учители, журналисти и дори индивидуални потребители, които ще могат да

произвеждат персонализирано съдържание с минимални усилия. Следващите подточки разглеждат три водещи посоки на развитие: напредъка в генеративния ИИ, възхода на персонализираното видео и ролята на хуманно-ориентираните интерфейси в автоматизацията на видеомонтажа. [9], [13]

— ***Развитие на генеративните модели и мултимодалния ИИ***

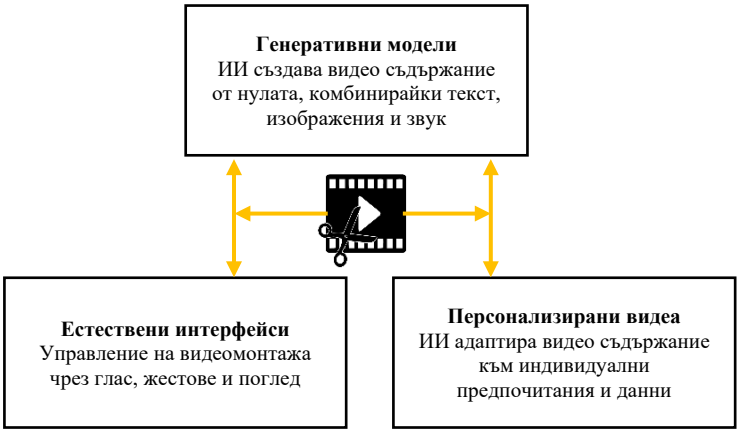
Генеративните модели като GPT, DALL·E, и особено Sora на OpenAI, навлизат активно в областта на видеосъздаването. Тези системи вече могат не само да генерират изображения и текст, но и цели видеофрагменти по текстова заявка. Интегрирането им с видео монтажни платформи би позволило създаване на напълно автоматизирани клипове – от концепция до готов файл – без човешка намеса. Така възниква ново ниво на автоматизация, което комбинира идеи, изображения, движения и звук. Мултимодалният ИИ, който разбира и комбинира информация от различни източници (текст, видео, аудио, изображения), допълнително разширява възможностите на автоматизирания монтаж. Например, система би могла да анализира емоционалния тон на даден текст, да избере подходящи кадри и музика, и да генерира завършен видеоклип, съчетаващ креативност и структура. Това бележи нова ера в човеко-машинната колаборация в областта на медиите.

— ***Персонализирани видеа чрез данни и поведенчески анализ***

С нарастващото значение на потребителския опит, все повече се обръща внимание към създаване на персонализирани видеа. Чрез използване на поведенчески данни, предпочитания и взаимодействия, ИИ системите могат автоматично да генерират варианти на едно и също съдържание, адаптирани към конкретни аудитории или индивидуални потребители. Така маркетинг видеата, обучителните материали или новинарските клипове могат да изглеждат различно за различни групи, без да се налага ръчна обработка. В допълнение, ИИ може да анализира потребителски реакции в реално време – например кои части от видеото са най-гледани или пропускани – и на тази основа да създава нови версии с по-добра ангажираност. Тази динамична адаптация ще направи видеосъдържанието все по-персонално, релевантно и ефективно като комуникационен инструмент.

— ***Гласови и жестови интерфейси в управлението на видеомонтаж***

Една от перспективните насоки в автоматизацията е използването на естествени интерфейси като гласово управление, жестове и дори поглед. Тези подходи правят работата с видео по-интуитивна и достъпна. Например, чрез гласови команди потребителят може да инструктира ИИ да изреже определен момент, да добави музика или да промени тоналността на клипа, без да използва традиционен интерфейс. В дългосрочен план, комбинирането на подобни интерфейси с ИИ ще позволи разработването на системи, които не само изпълняват команди, но и разбират контекста и интенцията зад тях. Това ще направи автоматизирания видеомонтаж още по-интерактивен и близък до човешкото творческо мислене. На фиг. 4 са показани бъдещите тенденции в автоматизацията на видеомонтажа. [6], [15]



Фиг. 4. *Бъдещи тенденции в автоматизацията на видеомонтажа*

7. Етични и регулаторни аспекти на автоматизирания видеомонтаж

С нарастването на ролята на ИИ в създаването на видеосъдържание се появяват редица етични, правни и социални въпроси. Сред основните теми са прозрачността в генерирането на съдържание, авторските права върху ИИ-създадени продукти, опасността от манипулация чрез deepfake технологии и защитата на личните данни. Тези въпроси налагат формиране на регулаторна рамка, която да гарантира отговорно използване на технологията. Автоматизираният видеомонтаж променя разбирането ни за авторство и интелектуална собственост. Ако една система генерира завършен видео продукт без човешка намеса, кой носи отговорност за съдържанието? Това е ключов въпрос, който се разглежда от правни институции, етични комитети и разработчици на ИИ. Паралелно, потребителите също трябва да бъдат информирани кога съдържанието е създадено от ИИ. В този контекст възниква необходимост от по-ясно обозначаване на ИИ-генерирано съдържание – било то чрез визуални маркери, метаданни или текстова анотация. По този начин се създава доверие между създателите и аудиторията, а също така се предотвратяват злоупотреби с манипулативно съдържание. Прозрачността е фундаментален принцип в изграждането на етичен ИИ. Следващите подточки разглеждат три основни направления – етика на съдържанието, правни и лицензионни проблеми и нуждата от стандартизация и регулации.

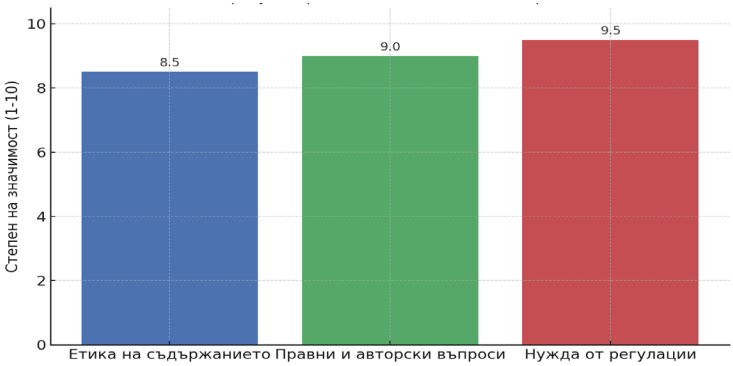
— ***Етика на съдържанието и дезинформация***

Един от най-сериозните рискове при автоматизирания видеомонтаж е възможността за създаване на манипулативно или невярно съдържание, особено чрез deepfake технологии. Генеративният ИИ може да възпроизвежда гласове, лица и действия, което поставя под въпрос автентичността на видеата. Това е

особено критично в политически, журналистически и образователни контексти, където точността и достоверността са от изключително значение. В отговор на тези рискове, етичните рамки следва да поставят акцент върху ясно обозначаване на изкуствено създадено съдържание, проверка на източници и защита от злоупотреби. Разработката на алгоритми за откриване на deepfake и фалшиви видеа вече е в ход, но отговорността остава споделена между технологичните компании, потребителите и регулаторите.

— ***Правни и авторски въпроси***

С използването на ИИ възникват сериозни въпроси относно правото на собственост върху автоматично генерирано съдържание. В повечето юрисдикции авторското право принадлежи на човека-създател, но какъв е случаят, когато видео е създадено изцяло от ИИ, без човешка намеса? Необходимо е ясно дефиниране на правния статут на ИИ-творби и техния създател – било то програмист, потребител или самата платформа. Освен това, използването на обучителни данни, които включват защитено съдържание (например музика, видеоклипове или изображения), може да доведе до нарушения на лицензи и права. Затова платформите за ИИ монтаж трябва да прилагат механизми за проверка и контрол на съдържанието, което генерират, като избягват автоматичното възпроизвеждане на защитени материали. На фиг. 5 е показана диаграмата на основни етични и регулаторни аспекти.



Фиг. 5. *Диаграма на основни етични и регулаторни аспекти*

— ***Нужда от регулации и международни стандарти***

На глобално ниво липсата на единни регулации за автоматизирано и ИИ-създадено видео създава правен вакуум. Различни държави подхождат по различен начин към тези технологии, като това води до несъответствия в отговорността, правата на потребителите и стандартите за качество. Необходима е международна координация, която да осигури балансирано развитие на иновациите с оглед защита на обществения интерес. Разработването на етични кодекси, сертифициране на ИИ системи и въвеждането на прозрачни политики за работа със съдържание ще бъдат критично важни за легитимността на автоматизирания видеомонтаж в бъдеще. Стандартизацията ще гарантира

доверие, съвместимост и яснота както за потребителите, така и за разработчиците.

8. Заключение

Развитието на изкуствения интелект и неговото прилагане в областта на видеомонтажа бележат значителна трансформация в начина, по който се създава, обработва и възприема визуалното съдържание. Автоматизацията на видеомонтажа чрез ИИ не само повишава ефективността и достъпността на този процес, но също така предлага нови възможности за креативност, персонализация и мащабируемост, които преди бяха немислими в рамките на традиционните подходи. Чрез настоящата статия беше проследено технологичното развитие на ИИ инструментите, техните ключови приложения, предимства и ограничения. Анализирани бяха също така бъдещите тенденции, които сочат към все по-интегрирани и интелигентни системи, способни да разбират контекст, емоция и наратив, и да създават висококачествено съдържание с минимална човешка намеса. От особено значение е навлизането на генеративните модели и персонализираните решения, които ще променят начина, по който се консумира визуалната информация.

Въпреки безспорните ползи, автоматизираният видеомонтаж повдига и сериозни въпроси, свързани с етиката, правото и обществената отговорност. Необходимо е създаване на регулаторни рамки и стандарти, които да гарантират прозрачност, защита на авторските права и предотвратяване на злоупотреби, особено в контекста на deepfake технологии и дезинформация. Балансът между иновации и етични принципи ще бъде от решаващо значение за устойчивото интегриране на ИИ в тази сфера. В заключение, автоматизацията на видеомонтажа чрез изкуствен интелект представлява ключов фактор в дигиталната трансформация на медийната индустрия, образованието, маркетинга и редица други области. Тя създава нови хоризонти за създаване и споделяне на съдържание, но изисква отговорно и информирано прилагане, основано на сътрудничество между технологичната общност, институциите и обществото.

ЛИТЕРАТУРА

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

[2] Stoyanova V. Research of the characteristics of a steganography algorithm in images when using different alphabet. In: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference. Volume IV. 2024. p. 259.

[3] Stoyanova V. Visual identity of the optoelectronic devices. DefTech 2024, Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies” DefTech 2024, Published by Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems – Shumen, NMU “Vasil Levski”, pp. 625-631, Online ISSN 2367-7902.

[4] Stefanova A. Automated system for geodetic control in building of bridge superstructure constructions using the cantilever concrete or assembly method, Proceedings of International Conference Synergy of Architecture and Civil Engineering, Niš, 11-12 September 2025, Vol. 1, pp. 53-63, ISBN: 978-86-82810-15-5.

[5] Stoyanov Iv., Ivanov V., Iliev T., Ivanov Hr. Yield and Performance Study of a 1MWp Grid Connected Photovoltaic System in Bulgaria. Journal of Engineering Science and Technology Review X, ISSN 1791-2377, doi:10.25103/jestr.132.43

[6] Othman I., AI Video Editor: A Conceptual Review in Generative Arts, 2023, Proceedings of the 3rd International Conference on Creative Multimedia (ICCM 2023), Atlantis Press, ISSN 2352-5398, pp. 16-23.

[7] Hu P., Xiao N., Li F., Chen Y., Huang R., A Reinforcement Learning-Based Automatic Video Editing Method Using Pre-trained Vision-Language Model, 2024, arXiv preprint arXiv:2411.04942.

[8] Teodoro S., Gunawan A., Kim S. Y., Oh J., Kim M., MIVE: New Design and Benchmark for Multi-Instance Video Editing, 2024, arXiv preprint arXiv:2412.12877.

[9] Liew J. H., Yan H., Zhang J., Xu Z., Feng J., MagicEdit: High-Fidelity and Temporally Coherent Video Editing, 2023, arXiv preprint arXiv:2308.14749.

[10] Gonsalves R., Li K., Wilson S., López N. N., Mathur S., AI Assistants in Media Production and Management: A Survey of Workflow Optimizations for Enhancing Creativity, 2024, SMPTE Motion Imaging Journal, Vol. 133, Issue 3, ISSN 1545-0279.

[11] Liu X., Xiang X., Li Z., Wang Y., Li Z., Liu Z., Zhang W., Ye W., Zhang J., A Survey of AI-Generated Video Evaluation, 2024, arXiv preprint arXiv:2410.19884.

[12] An L. A., Video Recording and an Automatic Editing Method Based on Artificial Intelligence Algorithm, 2023, in Second International Conference on Digital Society and Intelligent Systems (DSInS 2022), SPIE Proceedings Vol. 12599.

[13] Zhang R., Generative AI for Film Creation: A Survey of Recent Advances, 2025, arXiv preprint arXiv:2504.08296.

[14] Fteiha B., Altai R., Yaghi M., Zia H., Revolutionizing Video Production: An AI-Powered Cameraman Robot for Quality Content, 2024, Engineering Proceedings, MDPI, Vol. 60, No. 1, Article 19, ISSN 2673-4591.

[15] Raushan M., Krishna R., Role of AI in Video Editing, 2024, International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM), 26 Nov 2024.

ИЗГРАЖДАНЕ НА МУЛТИСЕГМЕНТНА IP МРЕЖА С ПРИОРИТИЗИРАНЕ НА ТРАФИКА И МРЕЖОВА ТРАНСЛАЦИЯ ЧРЕЗ QOS И NAT МЕХАНИЗМИ В CISCO PACKET TRACER

Даниел Р. Денев, Алекс Я. Данев

BUILDING A MULTISEGMENT IP NETWORK WITH TRAFFIC PRIORITIZATION AND NETWORK TRANSLATION THROUGH QOS AND NAT MECHANISMS IN CISCO PACKET TRACER

Daniel R. Denev, Aleks Ya. Danev

ABSTRACT: *In the era of digital transformation and the increased use of network services, the need for effective and secure traffic management is becoming increasingly important. Building a multi-segment IP network allows for the structuring of different network areas and departments that can function autonomously, but also communicate effectively with each other. In this context, this report aims to explore and demonstrate how such a network can be built using Cisco Packet Tracer. Through the application of Network Address Translation (NAT), translation between private and public IP addresses is implemented, thus ensuring security and the ability to share limited public IP resources. Cisco Packet Tracer uses the modular CLI approach (MQC), which allows for the creation of policies, the definition of traffic classes and their application on network interfaces. Through practical simulations in Cisco Packet Tracer, a network topology was designed, including three main LAN segments, a router with NAT configuration, and QoS policies applied to the outgoing traffic. The results show stable network operation, correct address translation, and effective traffic management under simulated load. The project demonstrates the applicability of the considered technologies in a real network environment and serves as a good basis for expansion and optimization.*

KEYWORDS: *Cisco packet tracer, IP network, Multisegment topology, NAT, QoS, Traffic prioritization, Routing, Network simulation*

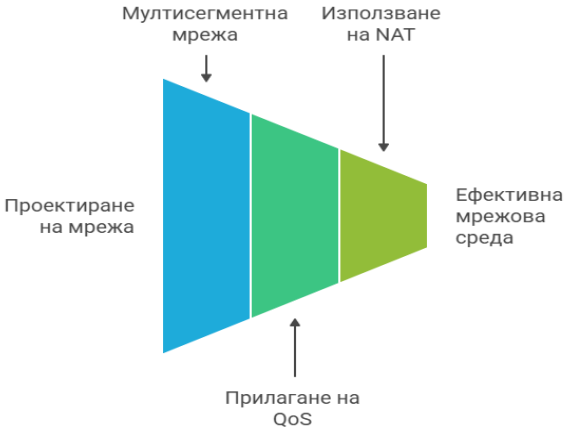
DOI: https://doi.org/10.46687/YT25DDA

1. Въведение

С нарастващата необходимост от стабилна, гъвкава и сигурна мрежова инфраструктура, проектирането на IP мрежи, които могат да се адаптират към различни типове трафик и да осигуряват качествена комуникация между множество крайни точки, става от изключително значение. Мултисегментните мрежи дават възможност за логическо и функционално разделяне на отделните части на една по-голяма мрежа – например различни отдели в организация, които

изискват отделни политики за достъп и сигурност. В съвременните IP мрежи не е достатъчно просто да се осигури свързаност между устройствата. Нужно е да се осигури и контрол върху качеството на предаваните данни. Именно тук се включва концепцията за Quality of Service (QoS) – механизъм, който позволява определяне на приоритети в трафика. Това е особено критично при приложения, чувствителни към закъснение и загуба, като гласови и видео комуникации.

От друга страна, Network Address Translation (NAT) играе ключова роля в управлението на IP адресите, особено в контекста на ограниченото количество публични IPv4 адреси. Чрез NAT вътрешни частни мрежи могат да комуникират с външни ресурси, като същевременно запазват сигурността си и минимизират риска от директни атаки от интернет. Комбинирането на NAT и QoS в една обща архитектура дава възможност за изграждане на ефективна и устойчива мрежова среда. Настоящата статия има за цел да демонстрира на практика как чрез използване на Cisco Packet Tracer могат да се изградят и симулират мултисегментни мрежи с прилагане на QoS и NAT механизми. Фиг. 1 показва оптимизиране на IP мрежовата инфраструктура. [2], [10], [15]



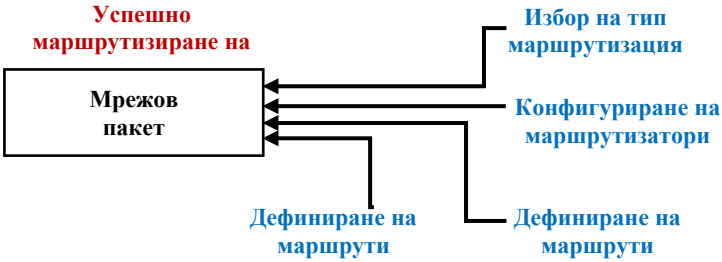
Фиг. 1. *Оптимизиране на IP мрежовата инфраструктура*

В настоящата статия ще бъдат разгледани теоретичните основи на двете технологии, както и конфигурационните стъпки, необходими за реализирането им в симулирана среда. В края на проекта ще бъде направен анализ на поведението на мрежата при различни типове трафик и натоварване.

2. Теоретични основи на IP маршрутизацията

IP маршрутизацията е процес, чрез който се определя най-подходящият път, по който даден мрежов пакет трябва да достигне до своята дестинация. Това е една от основните функции на маршрутизаторите в една мрежа. Всеки маршрутизатор взема решение въз основа на таблица за маршрути, която съдържа информация за мрежите, към които има достъп, както и най-добрия път до тях.

Различават се два основни вида маршрутизация – статична и динамична. При статичната маршрутизация, администраторът ръчно въвежда маршрути към различни мрежи. Това осигурява пълен контрол, но не е гъвкаво при големи и често променящи се мрежи. Динамичната маршрутизация, от своя страна, използва протоколи като RIP, EIGRP и OSPF, които автоматично обменят информация между маршрутизаторите и актуализират маршрутите си. Изборът между статична и динамична маршрутизация зависи от мащаба и нуждите на мрежата. При симулации или малки топологии често се използва статична маршрутизация поради своята предвидимост и простота. В по-сложни сценарии, динамичните протоколи осигуряват по-добра адаптивност, оптимизация на маршрутите и баланс на натоварването. На фиг. 2 е показан процеса на IP маршрутизация. [4], [7], [12]



Фиг. 2. *Процес на IP маршрутизация*

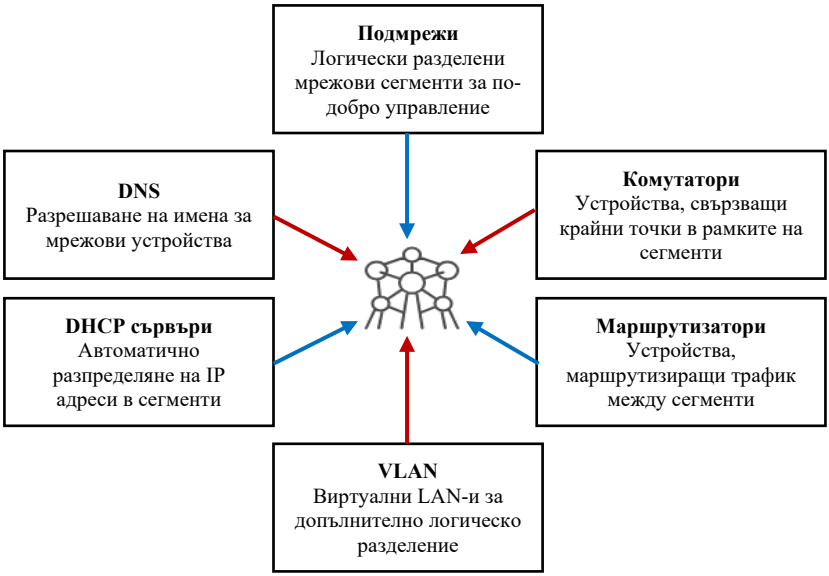
За успешното маршрутизиране между сегментите на една мултисегментна мрежа е важно правилно да се конфигурират интерфейсите на маршрутизаторите с точните IP адреси и маски на подмрежите. Всеки сегмент трябва да бъде в отделна мрежа, за да се избегне конфликт на IP адреси и да се улесни управлението на трафика. Маршрутите към тези мрежи трябва да бъдат дефинирани ръчно или чрез подходящ протокол. В настоящия проект се използва статична маршрутизация, като всеки маршрутизатор е конфигуриран ръчно с маршрути до останалите мрежи. Това позволява точно проследяване на логиката на маршрутизация и улеснява симулационния процес в Cisco Packet Tracer. Така се осигурява стабилна свързаност между отделните LAN сегменти.

3. Концепция за мултисегментна мрежа

Мултисегментната мрежа представлява логически разделена IP инфраструктура, при която всяка група от устройства (например компютри в отдел „Финанси“ или IP телефони) е разположена в собствена подмрежа. Това разделение осигурява по-добро управление на мрежовите ресурси, повишена сигурност и възможност за специфични политики за всеки сегмент. Всеки мрежов сегмент обичайно съдържа крайни хостове, свързани посредством комутатори на канално ниво, функциониращи в рамките на една и съща подмрежа с идентичен мрежов префикс и маска. Маршрутизаторите между тях осъществяват

маршрутизацията, като осигуряват комуникация между сегментите. В допълнение, разделението по VLAN-и (виртуални LAN-и) може да бъде използвано за допълнително логическо разграничение. [3]

Предимствата на мултисегментната архитектура са много. Тя позволява по-добро изолиране на трафика – например, ако в един сегмент има прекомерен трафик или атака, това не влияе директно на останалите сегменти. Освен това, системните администратори могат да приложат специфични политики, като ограничаване на достъпа между отдели или приоритизация на конкретни видове трафик. В една добре изградена мултисегментна мрежа също така могат да се използват DHCP сървъри за автоматично IP адресиране на устройствата в отделните сегменти, както и DNS за разрешаване на имена. Поддръжката на такъв тип мрежа е улеснена благодарение на ясно структурираната ѝ архитектура и възможността за бързо локализиране на проблеми. В нашия проект сме изградили три основни сегмента – административен, технически и гласов (за VoIP устройства). Всеки от тях е в различна подмрежа, свързан към централния маршрутизатор. Това дава възможност за независим контрол, приоритизация на трафика и лесна интеграция на допълнителни мрежови услуги като NAT и QoS. На фиг. 3 са показани компоненти на мултисегментна мрежа. [5], [6], [17]



Фиг. 3. *Компоненти на мултисегментна мрежа*

4. Видове NAT технологии и приложение

Network Address Translation (NAT) е мрежова технология, която преобразува IP адресите на пакетите, преминаващи през маршрутизатор, с цел осигуряване на комуникация между частна и публична мрежа. Това е критично

важно при използването на IPv4 адреси, тъй като наличните публични адреси са ограничен ресурс. Основните видове NAT са Static NAT, Dynamic NAT и PAT (Port Address Translation). Static NAT се използва, когато един вътрешен адрес винаги се свързва с един конкретен външен адрес. Това е подходящо за сървъри или услуги, които трябва да са винаги достъпни отвън. Dynamic NAT, от своя страна, използва пул от външни IP адреси, които се разпределят временно на вътрешни хостове. Най-разпространеният вариант – PAT, позволява множество вътрешни устройства да използват един публичен адрес чрез различни портове.

Забележка:

При PAT броят на хостовете е ограничен от броя на наличните TCP/UDP портове (~65 000), което е напълно достатъчно за реални сценарии. Dynamic NAT изисква поне толкова външни адреси, колкото са активните връзки във всеки момент. Static NAT е напълно прозрачен, но неефективен при мащабни вътрешни мрежи поради нуждата от уникален публичен адрес за всяко устройство.

В корпоративни и домашни мрежи най-често се използва PAT, тъй като дава възможност десетки или стотици вътрешни устройства да имат достъп до интернет чрез един-единствен публичен адрес. NAT също така допринася за сигурността на вътрешната мрежа, тъй като реалните вътрешни адреси не са видими отвън. За да функционира NAT правилно, трябва да се конфигурират вътрешни и външни интерфейси на маршрутизатора, както и списъци за достъп (ACL), указващи кои адреси подлежат на транслация. След това се прилага командата за NAT преобразуване, като в случай на PAT се използва „overload“, което позволява повторна употреба на един IP адрес чрез различни портове. В този проект е реализирана конфигурация на PAT, чрез която вътрешните устройства от частната мрежа имат достъп до интернет, използвайки общ публичен адрес. Това е постигнато чрез дефиниране на списък с вътрешните IP адреси, определяне на вътрешен и външен интерфейс, както и активиране на NAT през интерфейса за интернет връзка. Таблица 1 и фиг. 4 показват сравнителна характеристика на NAT технологиите. [8], [11], [13]

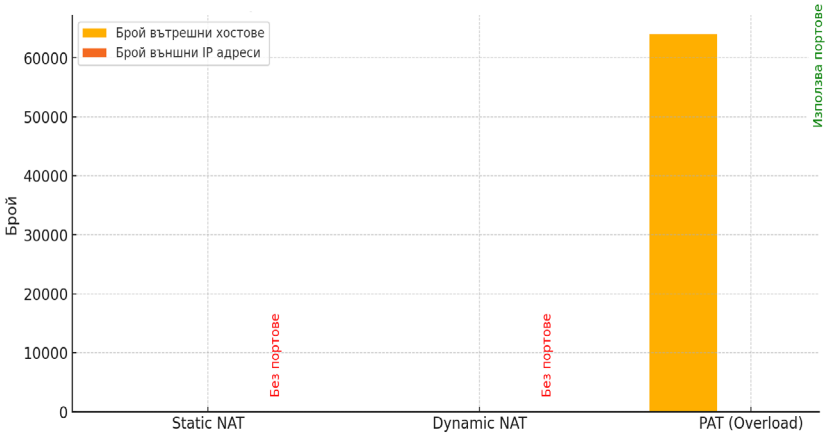
Quality of Service (QoS) представлява набор от технологии и методи за контрол и управление на мрежовия трафик, с цел осигуряване на по-добра производителност за специфични приложения или услуги. Най-често QoS се използва за приоритизиране на чувствителни към закъснение трафици като VoIP, видео конференции или интерактивни приложения. QoS механизмите позволяват определяне на правила, според които даден трафик се обработва с по-висок приоритет, резервира се честотна лента или се прилагат политики за ограничаване на по-малко критични данни. В мрежова среда с множество типове трафик, липсата на QoS може да доведе до латентност, загуби на пакети или нестабилни връзки. [1], [9], [14]

В Cisco Packet Tracer реализацията на QoS се извършва чрез Modular QoS CLI (MQC) подход. Това включва създаване на класове трафик (class-maps), дефиниране на политики (policy-maps) и прилагането им върху конкретни интерфейси (service-policy). Например, трафик с RTP (гласов) протокол може да бъде категоризиран и получи приоритет от 70% от капацитета на връзката. Освен приоритет, QoS може да включва и механизми като traffic shaping, policing, congestion management и link efficiency mechanisms. Всички те спомагат за

контрол на трафика в условия на претоварване и осигуряват балансирано използване на ресурсите.

Таблица 1. *Сравнителна характеристика на NAT технологиите*

Вид NAT	Описание	Брой вътрешни хостове	Брой външни IP адреси	Използване на портове	Подходящо за
Static NAT	Един вътрешен IP се съпоставя с един конкретен външен IP адрес	1	1	Не	Сървъри, уеб услуги с постоянен достъп
Dynamic NAT	Вътрешни IP адреси се картографират към пул от външни IP адреси	До размера на пула	N (ограничен пул)	Не	Мрежи с умерен брой външни хостове
PAT (NAT Overload)	Множество вътрешни IP адреси използват един външен IP с различни портове	До 64 000+ (теоретично)*	1	Да	Домашни и корпоративни мрежи (най-често)



Фиг. 4. *Сравнение между NAT технологии*

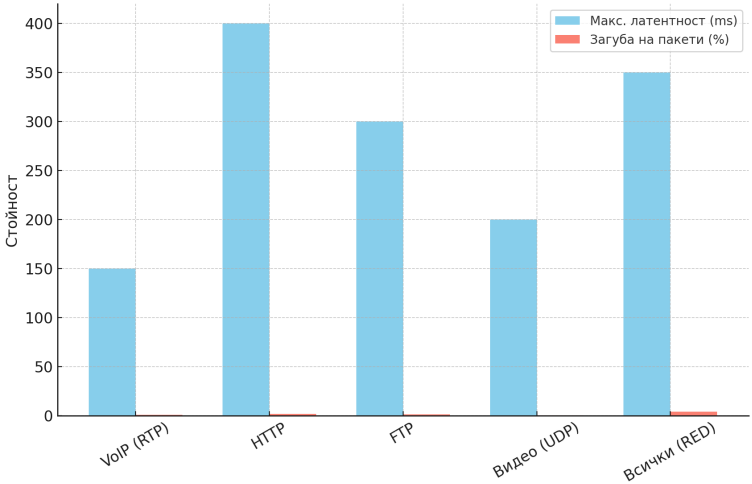
5. Видове Quality of Service концепции и реализация

В проекта е дефинирана QoS политика, която разпознава VoIP трафика и му дава висок приоритет на изходящия интерфейс на маршрутизатора. Това осигурява надеждна комуникация за гласови услуги, дори при симулирано

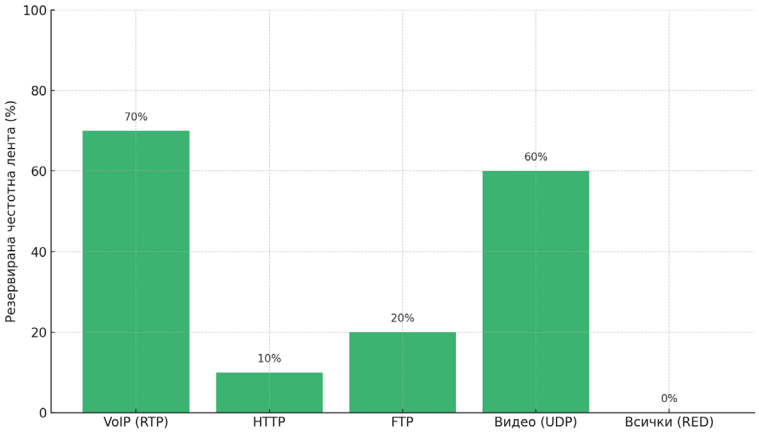
мрежово натоварване. Чрез тестове се потвърждава, че гласовият трафик запазва ниска латентност, докато по-ниско приоритетният трафик като HTTP или FTP получава остатъчни ресурси. Таблица 2, фиг. 5 и фиг. 6 показват *сравнителни резултати на основни QoS механизми и параметри.*

Таблица 2. *Сравнение на основни QoS механизми и параметри*

QoS механизъм	Тип трафик	Приоритет	Резервирана честотна лента (%)	Макс. латентност (ms)	Загуба на пакети (%)
Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ)	VoIP	Висок	70%	≤ 150	< 1%
CBWFQ + Traffic Policing	HTTP	Нисък	10%	≤ 400	~2%
CBWFQ + Traffic Shaping	FTP	Среден	20%	≤ 300	< 1.5%
Low Latency Queuing (LLQ)	Видео (UDP)	Висок	60%	≤ 200	< 0.5%
Random Early Detection (RED)	Всички	Нисък	Адаптивно	Зависима от натоварването	~3–5% (при пикова заетост)



Фиг. 5. *Сравнение на латентност и загуба на пакети*



Фиг. 6. *Разпределение на честотна лента по трафик*

Обяснения на параметрите:

Приоритет: Относителен приоритет, присвоен чрез policy-map (пр. priority, bandwidth).

Резервирана честотна лента: Зададена чрез bandwidth команда (в проценти от капацитета на интерфейса).

Латентност: Измерена или симулирана забавяне на пакети в мрежата.

Загуба на пакети: Относителна загуба на пакети при натоварване или претоварване.

6. Проектиране на мрежовата топология в Cisco Packet Tracer

При проектиране на една IP мрежа, особено в симулирана среда като Cisco Packet Tracer, е важно предварително да се дефинират архитектурните принципи и нуждите на мрежата. Основната цел е да се осигури стабилна, логично организирана структура, която да бъде лесна за разширяване, поддръжка и анализ. В случая – топологията трябва да поддържа NAT, QoS и маршрутизация между няколко подмрежи. Cisco Packet Tracer позволява визуално и функционално изграждане на реалистични мрежови среди с помощта на виртуални устройства – маршрутизатори, комутатори, компютри, сървъри, IP телефони и други. Благодарение на широката поддръжка на CLI конфигурации и емулация на протоколи, симулираната среда дава възможност за тестване на сложни решения, без нужда от физически хардуер. В проекта целта е да се реализира мрежа, в която има поне три различни LAN сегмента – всеки с отделна подмрежа и функционално предназначение. Маршрутизаторът осигурява свързаност между тях, както и достъп до „интернет“ чрез NAT. QoS политиките ще бъдат приложени върху изходящия интерфейс на маршрутизатора, така че гласовият трафик да има приоритет. Всичко това е реализирано логически в една цялостна топология. [3], [11], [16]

— ***Избор на мрежова архитектура***

Проектираната архитектура следва класически модел „Router-on-a-stick“ с един централен маршрутизатор, към който са свързани няколко LAN сегмента чрез отделни интерфейси или чрез VLAN-и (ако се използва един интерфейс с комутатор). Всеки сегмент отговаря на различна функционална зона от мрежата – например: администрация, технически отдел, гласов трафик (VoIP). Този тип архитектура позволява централизирано управление на трафика, NAT транслация на изхода и прилагане на QoS политики на интерфейсно ниво. Използването на отделни подмрежи улеснява маршрутизацията и прилагането на контролни политики. Освен това, разделението между сегментите осигурява по-добро управление на сигурността и трафичния поток. В тази архитектура маршрутизаторът играе ключова роля – всички данни между подмрежите минават през него. Това позволява не само маршрутизиране, но и наблюдение на трафика, конфигуриране на транслации чрез NAT, както и приоритизиране чрез QoS. Изборът на такава централизирана архитектура я прави особено подходяща за демонстрационни и образователни цели.

— ***Устройства и адресиране***

В мрежовата топология са използвани стандартни устройства от каталога на Cisco Packet Tracer – един маршрутизатор Cisco 2811, три Cisco 2960 комутатора, както и множество крайни устройства – персонални компютри, сървъри и IP телефони. За целите на демонстрацията, всеки сегмент има от 2 до 4 крайни устройства. Всяка подмрежа получава отделна IP адресна схема. **Например:**

- *Администрация: 192.168.10.0/24*
- *Технически отдел: 192.168.20.0/24*
- *VoIP трафик: 192.168.30.0/24*

Мрежовите маски са избрани така, че да позволят използването на до 254 хоста в сегмент, което е подходящо дори за мащабиране на симулацията. IP адреси се задават ръчно, за да се гарантира точен контрол и предвидимост при тестването. За IP телефоните се използват IP адреси в третия сегмент. Маршрутизаторът е конфигуриран с IP адрес за всеки от своите LAN интерфейси, като той действа като default gateway за устройствата в съответната мрежа.

— ***Логическа свързаност и сегментация***

Логическата свързаност е изградена чрез директно свързване на всеки комутатор към маршрутизатора чрез отделен интерфейс. Това позволява по-лесна и по-интуитивна конфигурация на маршрутизацията и NAT. Всеки LAN сегмент има своя собствена подмрежа, изолирана от останалите, и е свързан чрез съответния порт на маршрутизатора. Комутаторите в мрежата осъществяват локалната комуникация между устройствата в рамките на сегмента. Така, например, компютрите от административния отдел могат да комуникират помежду си директно чрез комутатора, докато за достъп до друго подмрежово устройство – например сървър в техническия сегмент – трафикът преминава през маршрутизатора. Така създадената сегментирана структура осигурява добра основа за прилагане на политики за QoS и NAT. Разделянето на трафика по

логически подмрежи позволява не само по-добро управление, но и значително улеснява анализирането на симулацията в Cisco Packet Tracer.

7. Конфигуриране на NAT и QoS политики

Една от най-важните фази при изграждането на функционална IP мрежа е нейното правилно конфигуриране. След като е проектирана топологията и логическата свързаност между отделните мрежови сегменти, следва да се приложат необходимите политики за транслация на адреси (NAT) и управление на трафика (QoS). Тези две технологии играят ключова роля за осигуряване на достъп до външни ресурси и поддържане на качеството на услугата за приоритетни приложения. NAT (Network Address Translation) позволява на устройства от частни IP мрежи да комуникират с публични ресурси, използвайки един или няколко външни (публични) IP адреса. Това не само спестява адресно пространство, но и подобрява сигурността чрез скриване на вътрешната структура на мрежата. В проекта се използва PAT (Port Address Translation) – най-разпространеният и гъвкав метод, позволяващ множество вътрешни хостове да споделят един публичен IP адрес.

Quality of Service (QoS), от своя страна, е необходима при наличие на различни видове трафик с различни изисквания към мрежовата производителност. Приложения като VoIP, видео конференции и други чувствителни към закъснение услуги изискват по-висок приоритет в мрежата, за да функционират коректно. Чрез QoS политиките може да се гарантира, че този трафик ще получи предимство пред останалия при претоварване. Целта на тази част от проекта е да се демонстрира как правилно се конфигурират NAT и QoS в Cisco Packet Tracer чрез CLI команди. Ще бъдат показани стъпките за дефиниране на вътрешни и външни интерфейси, създаване на ACL списъци за NAT, както и изграждане на QoS класове и политики. Конфигурацията е насочена към максимална ефективност и съвместимост с проектираната топология. На фиг. 7 е показана конфигурация на протоколите NAT и QoS. И техния код е представен по-долу. [8], [10], [14]

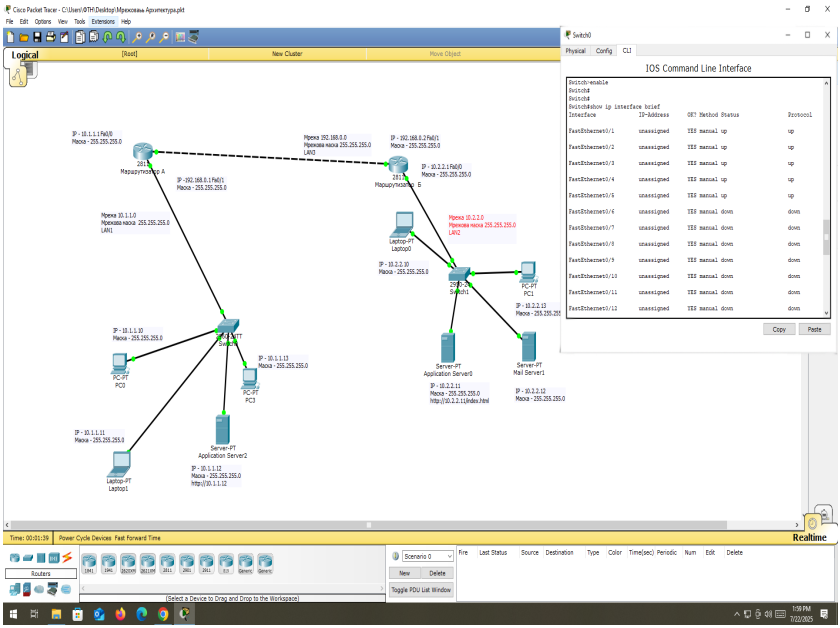
NAT Конфигурация:

```
interface FastEthernet0/0
ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
ip nat inside
interface FastEthernet0/1
ip address 192.168.0.1 255.255.255.0
ip nat outside
ip nat inside source list 1 interface FastEthernet0/1 overload
access-list 1 permit 10.1.1.0 0.0.0.255
```

QoS Конфигурация:

```
class-map match-any VOICE
match protocol rtp
policy-map QOS-POLICY
class VOICE
```

```
priority percent 70
class class-default
fair-queue
interface FastEthernet0/0
service-policy output QOS-POLICY
```



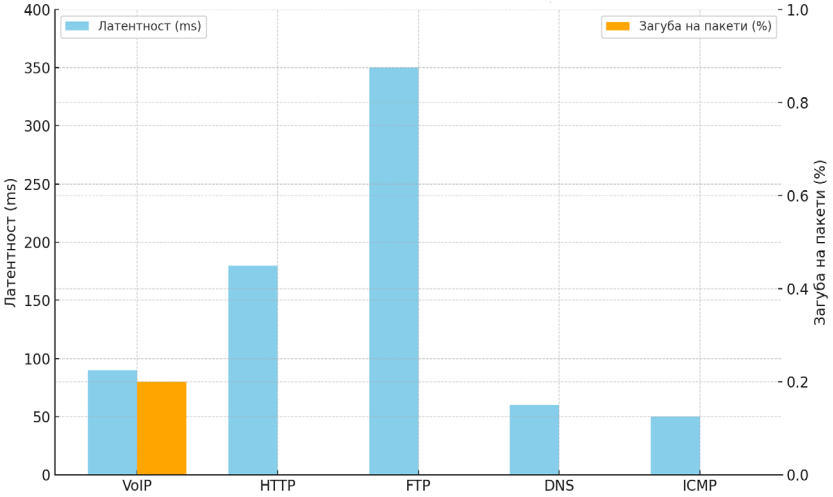
Фиг. 7. *Конфигурация на протоколите NAT и QoS*

8. Тестове и анализ на трафика

За да се провери ефективността на конфигурираната мрежа, бяха проведени симулации в Cisco Packet Tracer с различни типове трафик – HTTP заявки към уеб сървър, VoIP разговори между хостове и FTP трансфер на големи файлове. Целта беше да се оцени как QoS политиките и NAT конфигурацията влияят на производителността и надеждността на мрежата в условия на натоварване. По време на тестовете беше наблюдавано, че при едновременното наличие на интензивен FTP трафик и VoIP разговори, мрежата приоритизира правилно чувствителния към закъснение VoIP трафик. Анализът показа, че гласовите пакети запазват минимална латентност под 150ms, без значителни загуби на пакети, което е в съответствие със стандартите за качество на VoIP услугите. Това демонстрира правилното функциониране на QoS механизма и ефективното разграничаване на класовете трафик. Таблица 3 и фиг. 8 показват стойности и резултати.

Таблица 3. *Резултати от симулации при мрежово натоварване*

Тип трафик	Средна латентност (ms)	Загуба на пакети (%)	Приоритет (QoS)
VoIP	90	0, 2%	Висок
HTTP	180	0%	Среден
FTP	350	0%	Нисък
DNS	60	0%	Висок
ICMP	50	0%	Нисък



Фиг. 8. *Резултати от мрежови тестове*

Обяснения

- **Сините колони** представят средната латентност за всеки тип трафик.
- **Оранжевите колони показват процент загуба на пакети.**

HTTP трафикът, от своя страна, беше обслужен със среден приоритет и не претърпя сериозни закъснения, което потвърждава балансирането на трафика чрез определените политики. FTP трансферите, класифицирани с най-нисък приоритет, бяха забавяни при по-високо мрежово натоварване, което е очаквано и желано поведение при QoS конфигурации. [9], [16]

Що се отнася до NAT, бяха направени тестове за достъп на вътрешни хостове до публичен DNS и HTTP сървър. Всички транслации между частни и публични IP адреси се извършваха коректно, като се използваха динамично разпределени портове. Воденето на таблицата за съответствие между вътрешни и външни адреси показа стабилна работа и ефективно използване на наличните

публични IP ресурси. Като цяло, тестовете показаха, че мрежата функционира стабилно, осигурявайки необходимото качество на обслужване за приоритетния трафик и сигурен достъп до външни услуги чрез NAT. Това потвърждава пригодността на реализираната архитектура за реални мрежови среди.

9. Заключение

Проектът демонстрира успешно изграждане на мултисегментна IP мрежа с прилагане на ключови технологии като NAT и QoS в симулирана среда. Чрез правилно структурирана топология и внимателно конфигурирани политики, мрежата осигурява едновременно автономност и комуникация между отделните LAN сегменти. Приложението на QoS позволява приоритизация на критични услуги като VoIP, което е от съществено значение в съвременни мрежи, подложени на разнообразен и интензивен трафик. NAT от своя страна спомага за защитата на вътрешната мрежа и оптималното използване на публични IP адреси, като същевременно запазва пълната функционалност на достъпа до интернет ресурси.

Резултатите от симулациите доказват, че предложената конфигурация е надеждна, ефективна и подходяща за реализация в реални среди като малки до средни предприятия или учебни институции. Проектът може да служи като основа за надграждане и включване на допълнителни услуги и политики. В бъдещо развитие могат да бъдат добавени механизми за сигурност като Access Control Lists (ACL), внедряване на VPN тунели за отдалечен достъп, VLAN за логическо разделяне на трафика, както и SNMP за мониторинг на мрежовата производителност. Това би повишило сигурността, управляемостта и мащабируемостта на мрежата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Стоянова В. Облачни технологии в образованието. Сборник научни трудове, факултет „А, ПВО и КИС” на НВУ „В. Левски”, Шумен, 2011, с. 76-82, ISSN 1313-7433.

[2] Aboelela E., Network Simulation Experiments Manual, 2011, Morgan Kaufmann, ISBN 9780123852441.

[3] Baker F., Quality of Service (QoS): Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks, 2013, Wiley, ISBN 9781118691135.

[4] Cisco Systems, Cisco Packet Tracer - Network Simulation Tool, Cisco Networking Academy, Documentation, https://www.netacad.com (достъп: юли 2025).

[5] Dhawan A., Implementation of NAT and PAT using Cisco Packet Tracer, 2020, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 9, Issue 6, ISSN 2278-0181.

[6] Uzun M. B., Atanasov V. T. Common conception of software-defined networks. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Konstantin Preslavsky University Press, vol. XIII E, 2023, pp.112-119, ISSN 2815-4703.

[7] Linko G. Nikolov, Vasil O. Slavyanov. Network infrastructure for cybersecurity analysis. Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies”, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, ISSN 2367-7902. pp. 191-195.

[8] Linko Nikolov. ERROR Rate analysis in ricean channel and complex radio environment. International scientific conference - Defence technology forum – Shumen 2016, Collection of papers, Факултет „А, ПВО и КИС“, ISSN: 2367-7902.

[9] Linko Nikolov, Krasimir Slavyanov. On the contemporary cybersecurity threats. I st CONFSEC 2017, 11-14.12.2017, Borovets, ISSN Print: 2603-2945, ISSN Online: 2603-2953, стр. 142-144.

[10] Ahmedova D., Konstantinova E., Tsankov Ts. The use of packet sniffing tools in computer networks security. International Scientific Conference “Defense Technologies” DefTech 2020, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, Shumen, 2020, ISSN 2367-7902, pp. 401-406.

[11] Tsankov Ts., Staneva L., Vardeva I., Iliev D. Generalized net model of a communication network using the Port Knocking method. Scientific Conference with international participation MATTEH 2022, Conference proceeding, Vol. 2, Shumen, 2022, ISSN 1314-3921, pp. 29-34.

[12] Ivanov V. Analysis of Computer Simulation in Software Environment of One-Phase Bridge Voltage Inverter for a Photovoltaic System. Annual of Assen Zlatarov University, Burgas Bulgaria, Vol. XLVI, Book 1, 2017, стр. 96 – 99, ISSN 1312-1359.

[13] Forouzan B., Data Communications and Networking, 5th Edition, 2013, McGraw-Hill Education, ISBN 9780073376226.

[14] Gallo M., Hancock W., Computer Communications and Networking Technologies, 2nd Edition, 2002, Cengage Learning, ISBN 9780534950958.

[15] Hunt C., TCP/IP Network Administration, 3rd Edition, 2002, O’Reilly Media, ISBN 9780596002978.

[16] Kurose J., Ross K., Computer Networking: A Top-Down Approach, 8th Edition, 2020, Pearson, ISBN 9780136681557.

[17] Tanembaum A. S., Wetherall D., Computer Networks, 5th Edition, 2010, Pearson, ISBN 9780132126954.

КИБЕРСИГУРНОСТ В МУЛТИМЕДИЙНИТЕ МРЕЖИ НА АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ

Даниел Р. Денев, Ивайло И. Петров

CYBERSECURITY IN MULTIMEDIA NETWORKS OF AUTOMATED SYSTEMS

Daniel R. Denev, Ivaylo I. Petrov

ABSTRACT: *Modern automated systems increasingly use multimedia networks for real-time data exchange, including audio, video, and sensor information. Such systems are applied in industry, transportation, healthcare, smart homes, and other areas where speed and reliability of communication are of key importance. Despite the advantages, multimedia networks in these environments create new challenges in the field of cybersecurity. Vulnerabilities arise both from open architectures and the use of standardized network protocols, and from the lack of adequate protection mechanisms in many end devices, especially in IoT components. Among the main threats are traffic eavesdropping, unauthorized access, man-in-the-middle attacks, denial of service (DDoS), and malicious code injection. Various methods are applied to address these risks, such as communication encryption, strong authentication, traffic monitoring and analysis, and network architecture segmentation. In addition, advanced technologies such as artificial intelligence and machine learning are already being used to detect anomalies and unknown threats in real time. The report examines both the current state of cybersecurity in multimedia networks of automated systems and future trends and innovations in the field. It emphasizes the need for a comprehensive, multi-layered approach to security to ensure the reliability and resilience of these critical infrastructures.*

KEYWORDS: *Cybersecurity, Automated systems, Multimedia networks, Data protection, IoT, Industrial security, Attacks*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25DDI

1. Въведение

В последните години автоматизираните системи се превръщат в неизменна част от модерната индустрия, транспорта, здравеопазването и дори ежедневието на хората чрез умни домове и устройства. Основен елемент от тяхното функциониране са мултимедийните мрежи, които осигуряват пренос на информация в реално време – видео от камери, аудио сигнали, данни от сензори и визуализации за наблюдение и управление. Мултимедийните мрежи в този контекст се характеризират с висока динамика, разнообразие от устройства (включително IoT) и необходимост от надеждност и минимални закъснения. Те

често използват отворени интернет протоколи и безжични комуникации, което от една страна улеснява интеграцията и мащабирането, но от друга страна повишава риска от киберзаплахи. [3], [10], [14]

С нарастващата зависимост от автоматизирани решения възниква сериозна необходимост от осигуряване на ефективна киберсигурност. Атаките срещу мултимедийни мрежи могат да доведат не само до изтичане на чувствителна информация, но и до прекъсване на критични процеси, физически щети или дори застрашаване на човешки животи, особено в контекста на автономни превозни средства и медицински системи. На фиг. 1 са показани предизвикателства и решения за сигурност в мултимедийните мрежи.



Фиг. 1. *Предизвикателства и решения за сигурност в мултимедийните мрежи*

Целта на настоящата статия е да изследва основните предизвикателства, свързани със сигурността в мултимедийните мрежи на автоматизирани системи, да анализира потенциалните уязвимости и заплахи, както и да представи съвременни методи и добри практики за тяхното преодоляване. Така се поставя основа за по-безопасно и устойчиво развитие на цифровата инфраструктура, на която се опират съвременните автоматизирани технологии.

2. Основни заплахи за сигурността

С нарастването на автоматизацията и използването на мултимедийни мрежи, информационната сигурност придобива критично значение. Данните, които се предават през такива мрежи – видео, аудио, телеметрия и контролни сигнали – често са в реално време и с висока степен на чувствителност. Това ги прави ценна цел за зловредни действия. За разлика от традиционните мрежи, мултимедийните комуникации изискват ниска латентност и висока непрекъснатост. Това води до компромиси в някои случаи, където сигурността е

поставена на втори план спрямо производителността. Атакуващите използват този баланс, за да откриват пролуки в защитата.

Заплахите могат да бъдат както вътрешни – от служители или грешки в конфигурацията, така и външни – чрез целенасочени хакерски атаки или зловреден софтуер. Много от уязвимостите произлизат от остарял или лошо конфигуриран софтуер, устройства с фабрични настройки или слаби пароли, както и липса на шифроване. По-долу са разгледани най-често срещаните видове заплахи за сигурността в мултимедийните мрежи на автоматизирани системи – всяка от които представлява реален риск за сигурността, надеждността и безопасността на инфраструктурата. [4], [6], [9]

— ***Неоторизиран достъп***

Неоторизираният достъп се случва, когато външни или вътрешни лица получат неправомерен контрол върху дадено устройство или система. Това може да доведе до манипулация на настройки, промяна на поведение на системата или дори пълно компрометиране на функционалността ѝ. Най-често причините за подобни пробиви са свързани с използване на стандартни (фабрични) пароли, липса на двуфакторна автентикация и недостатъчна контролна политика при управлението на потребителските достъпи. Особено уязвими са камери, сензори и други крайни устройства с вграден достъп през интернет.

— ***Подслушване и прихващане на данни***

Подслушването е форма на пасивна атака, при която нападателят следи и анализира мрежовия трафик, без да променя съдържанието му. В контекста на мултимедийните мрежи това означава достъп до видео и аудио потоци, които често съдържат поверителна или лична информация. Такива атаки обикновено се осъществяват чрез прихващане на некриптиран трафик или чрез използване на слабо защитени безжични връзки. Последствията могат да включват нарушение на поверителност, компрометиране на бизнес тайни и дори изнудване, когато се прихваща чувствителна информация.

— ***Атаки тип „човек по средата“***

Атаките от тип „човек по средата“ се осъществяват чрез прехващане и манипулиране на данни между две комуникиращи страни, без те да знаят. Това може да доведе до промяна на видеопоток, фалшифициране на команди към автоматизирана система или насочване на данните към трета страна. В мултимедийните мрежи, MITM атаките често са възможни при отсъствие на криптиране или удостоверяване между устройствата. Например, ако видеокамера не проверява автентичността на сървъра, към който предава, атакуващият може да се представи за него и да получи целия поток.

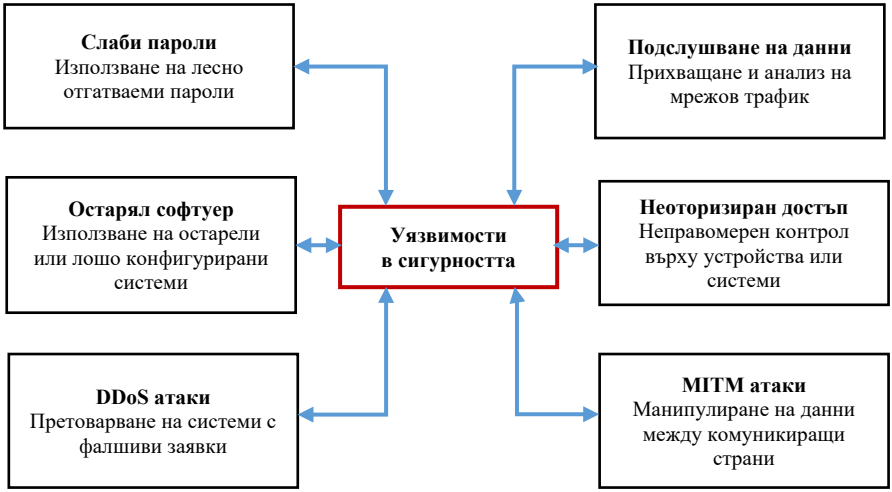
— ***Инжектиране на зловреден код***

Този тип атаки включват въвеждане на злонамерен софтуер или код в системата, с цел промяна на нейното поведение или придобиване на контрол. Често се използват методи като фалшиви актуализации, уязвими уеб интерфейси или отворени портове за отдалечен достъп. Особено опасни са случаите, при които злонамерен код се инжектира в устройства без активна антивирусна защита или системи за откриване на аномалии. Такива атаки могат да останат

незабелязани дълго време и да се активират в критичен момент, водейки до отказ или саботаж на системата.

— ***DDoS атаки***

DDoS (Distributed Denial of Service) атаките се използват за претоварване на системата с масивен обем фалшиви заявки, което води до недостъпност на услугите. За мултимедийните мрежи това означава прекъсване на видеонаблюдение, аудио връзки или управление на устройства. Тези атаки могат да бъдат насочени към конкретен сървър, устройство или към цялата комуникационна инфраструктура. В контекста на автоматизирани системи, загубата на контрол или липсата на визуална обратна връзка в критични моменти може да има сериозни последици, включително физически инциденти. На фиг. 2 са показани фактори допринасящи за уязвимости в сигурността.



Фиг. 2. *Фактори допринасящи за уязвимости в сигурността*

3. Уязвимости в мултимедийните мрежи

Мултимедийните мрежи в автоматизирани системи често комбинират разнообразни устройства – от IP камери и микрофони до сензори и контролери, свързани чрез кабелна или безжична комуникация. Макар и създадени с цел улесняване на управлението и мониторинга, тези системи рядко са проектирани с приоритет върху сигурността. Това създава редица уязвимости, които могат да бъдат експлоатирани от зложелатели. Повечето устройства, използвани в мултимедийните среди, са с ограничени хардуерни ресурси, което прави прилагането на силни криптографски алгоритми или сложни защитни механизми трудно постижимо. Освен това, икономическите съображения често водят до компромиси в сигурността – използване на евтини модули, остарели чипове или отворени API без защита. [1], [11], [12]

Наличието на множество комуникационни протоколи, операционни системи и доставчици затруднява стандартизацията на сигурността. В резултат, при интеграция на нови компоненти често се допускат пропуски – неконфигурирани портове, неактивирани защитни функции или неизползвани функции, които остават достъпни. По-долу са разгледани някои от най-често срещаните уязвимости, характерни за мултимедийните мрежи в автоматизирани системи. Разпознаването им и навременното им адресиране са ключови за поддържане на стабилна и сигурна среда.

— ***Липса на автентикация и слаби пароли***

Много устройства в мултимедийните мрежи идват с фабрични пароли, които рядко се сменят. Това улеснява неоторизирания достъп от всеки, който познава тези фабрични настройки. Камери, NVR устройства и микроконтролери често се оказват изложени на риск именно поради този пропуск. Още по-проблемно е, когато системата не изисква задължителна смяна на паролата при първоначално стартиране или не предлага възможност за двуфакторна автентикация. Това позволява на зловредни актьори да влязат директно в системата и да поемат контрол над нея без особени усилия.

— ***Използване на некриптирана комуникация***

Често мултимедийните потоци (например от камери или сензори) се предават по протоколи като RTSP, HTTP или UDP без никакво криптиране. Това означава, че всеки в обхвата на мрежата или с достъп до междинни точки може да прихване и анализира информацията. Липсата на TLS/SSL или други криптографски защити в комуникацията прави системите уязвими на подслушване, MITM атаки и изтичане на чувствителна информация. В индустриален контекст това може да доведе до компрометиране на производствени процеси или изтичане на конфиденциални данни. На фиг.3 са показани пътищата към компрометиране на мрежата.



Фиг. 3. *Пътища към компрометиране на мрежата*

— ***Слабо защитен или остарял фърмуер***

Фърмуерът на много мултимедийни устройства не се обновява автоматично и в някои случаи дори не поддържа възможност за актуализация. Това означава, че след откриването на уязвимост тя може да остане активна и използваема с месеци или години. Още по-опасно е, когато производителите

спрат поддръжката на дадено устройство, а то продължава да функционира в критична инфраструктура. Нападателите могат да използват известни експлойти за достъп до такива устройства, без да се налага сериозна подготовка. [2], [15]

— ***Отворени или незащитени портове***

Много устройства оставят отворени мрежови портове по подразбиране – например за отдалечен достъп, уеб интерфейс или потоково видео. Ако тези портове не се ограничат или защитят чрез мрежови правила, те стават директна входна точка за атаки. Липсата на контрол на достъпа до отворени портове позволява на атакуващи да сканират и открият устройствата в мрежата, да се свържат с тях и дори да използват известни уязвимости за проникване. Често срещани са и случаи на устройства, които публикуват услуги в интернет без нужда.

4. Методи за защита и добри практики

Предвид множеството заплахи и уязвимости, които застрашават мултимедийните мрежи в автоматизирани системи, прилагането на адекватни мерки за защита е от съществено значение. За да бъдат ефективни, тези мерки трябва да обхващат както технологичната, така и организационната страна на сигурността. Не е достатъчно само да се инсталира антивирусна програма – необходим е цялостен подход. Модерните автоматизирани системи често са хетерогенни – включват компоненти от различни производители, различни поколения и с различни нива на сигурност. Това прави задачата по защитата още по-сложна, като изисква съобразяване с реалните възможности на всяко устройство, без да се компрометира работоспособността на системата.

Добрата практика включва не само внедряване на технологии за сигурност, но и обучение на персонала, политики за достъп, проследимост на действия и редовен одит. Целта е да се осигури многопластова защита – т.нар. defense-in-depth – при която дори пробив в една точка не води до пълен компромис на системата. По-долу са описани основни методи и добри практики, които могат значително да намалят риска от пробив в мултимедийните мрежи на автоматизирани системи. [8], [10], [13]

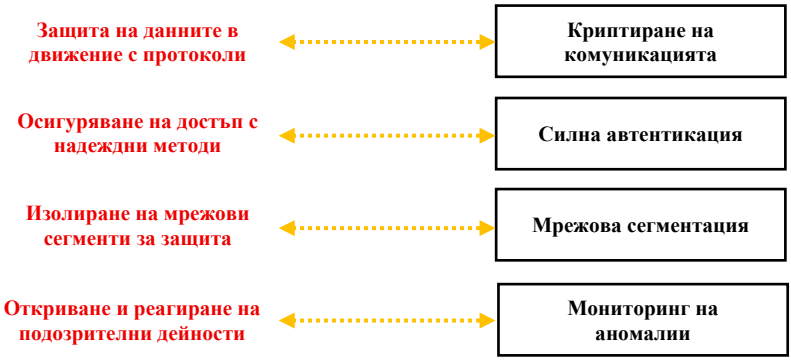
— ***Криптиране на комуникацията***

Криптирането на трафика между устройствата е една от най-ефективните защити срещу подслушване и MITM атаки. Използването на протоколи като TLS (за уеб и API комуникация), SRTP (за аудио/видео трафик) или IPsec (на мрежово ниво) може значително да повиши сигурността на данните в движение. В допълнение, е важно не само да се използва криптиране, но и да се поддържат актуални сертификати и съвременни алгоритми. Остарели протоколи като SSL 2.0/3.0 и неподписани сертификати трябва да се избягват, тъй като лесно могат да бъдат компрометирани.

— ***Силна автентикация и контрол на достъпа***

Използването на сложни пароли, ролеви модели за достъп и двуфакторна автентикация е базова, но често пренебрегвана мярка за сигурност. Контролът върху това кой има достъп до кои ресурси в системата трябва да е стриктно

дефиниран. Важно е да се използват централизирани системи за управление на идентичности (IAM), които позволяват проследяване на активността на потребителите и бързо ограничаване на достъпа при съмнения за пробив. Логовете и историята на действията трябва да се съхраняват за анализ и одит. На фиг. 4 е показана принципна схема за повишаване на сигурността.



Фиг. 4. *Повишаване на сигурността на мултимедийните мрежи*

— ***Мрежова сегментация и защитни зони***

Чрез разделяне на мрежата на логически сегменти – например отделяне на видеонаблюдението от управлението и сензорите – се ограничава възможността за странични атаки. Така дори при компрометиране на един сегмент, останалите остават защитени. Създаването на DMZ (демилитаризирани зони) за достъп до интернет, използването на VLAN-и и междувременни защитни стени (firewalls) са доказани практики. Те затрудняват движението на зловреден трафик вътре в мрежата и дават време за реакция. [5], [7], [14]

— ***Мониторинг и откриване на аномалии***

Системите за откриване на проникване (IDS) и предотвратяване на атаки (IPS) играят важна роля в активната защита на мултимедийните мрежи. Те анализират трафика и засичат подозрителни модели на поведение, които могат да са признак на пробив. Все по-често се използват и технологии с изкуствен интелект, които разпознават аномалии на базата на поведението на устройствата и автоматично реагират – чрез блокиране, уведомяване или изолиране на засегнатата част от системата. Този подход значително повишава бързината и ефективността на защитата.

5. Реални сценарии и казуси на компрометиране и защита

Теоретичните принципи на киберсигурността добиват най-голяма яснота чрез реални примери. Практическите случаи разкриват не само възможностите за атаки, но и последствията от тях, както и необходимостта от превенция чрез навременни мерки. В различни сектори мултимедийните мрежи играят решаваща роля, а техният пробив може да доведе до сериозни щети. Следващите примери

показват как уязвимости в автоматизирани системи, използващи аудио-визуални технологии, могат да бъдат експлоатирани, както и как добри практики могат да минимизират риска. Те служат като основа за по-добро планиране на защитата в бъдеще. [6], [11], [15]

— ***Индустриални IoT системи***

В производствените предприятия често се използват IP камери за наблюдение на процесите, както и сензори, предаващи в реално време мултимедийна и контролна информация. В един случай, незащитен достъп до камера, инсталирана в поточна линия, е позволил на външен атакуващ да наблюдава критични операции, което е довело до изтичане на производствена технология към конкурентна фирма. След инцидента компанията е внедрила цялостна политика за криптиране на видеопотоци и централизирано управление на достъпа. Това подобрение значително повишило нивото на сигурност и предотвратило бъдещи пробиви.

— ***Автономни транспортни системи***

Автономните превозни средства разчитат на камери, радари и сензори, които предават мултимедийна информация към бордовия компютър. В симулирана атака екип по киберсигурност успява да подмени видеопотока от камера с фалшив, което кара системата за автоматично управление да вземе неправилно решение – избягване на несъществуващо препятствие. Този случай показва колко критично е да се гарантира автентичността на данните в реално време. Впоследствие производителят въвежда цифрово подписване на видеофайловете, което осигурява гаранция за тяхната цялост.

— ***Системи за видеонаблюдение в публичния сектор***

Градските системи за видеонаблюдение обикновено предават потоци в реално време към центрове за управление. В конкретен случай, незащитена RTSP връзка от улична камера е позволила на трето лице да прихване и излъчва в интернет живо видео от кръстовище, без знанието на институцията. След инцидента администрацията подменя устройствата с нови, които поддържат SRTP криптиране и включва мрежова сегментация, така че камерите да не бъдат директно достъпни от публични мрежи. Това подобрява както сигурността, така и контрола над потоците. Таблица 1 показва статистически данни за киберсигурността в мултимедийни мрежи.

Легенда:

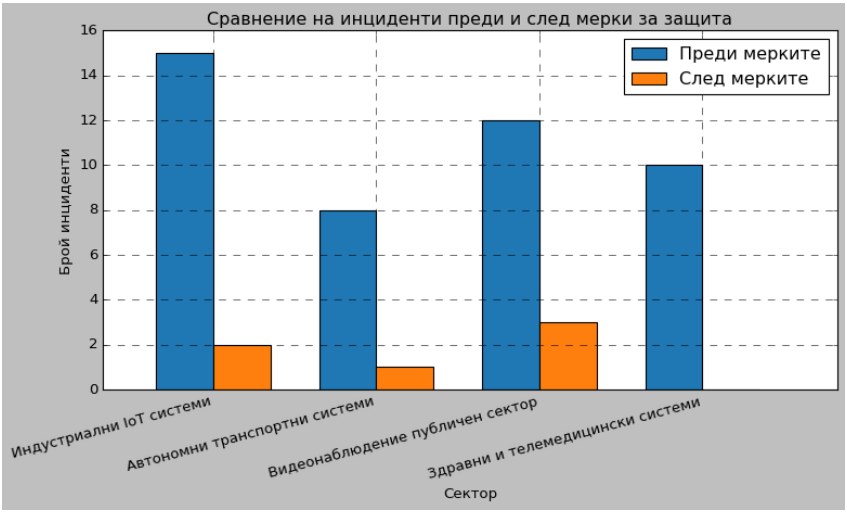
- **Тип атака (код)**: 01 – Незащитен достъп; 02 – Подмяна на видео; 03– Прихващане на поток; 04 – Прехващане на разговор
- **Брой инциденти** – регистрирани случаи за последната година
- **Време за реакция** – средно време за откриване и реакция на инцидента
- **Загуби** – приблизителни икономически загуби вследствие на инциденти (в хиляди лева)
- **Ефективност –** процентно намаление на инцидентите след прилагане на защитните мерки

Таблица 1. *Статистически данни за киберсигурността в мултимедийни мрежи*

Сектор / Случай	Тип атака (код)	Брой инциденти преди мерките	Брой инциденти след мерките	Време за реакция (мин)	Загуби (хил. лв.)	Ефективност на защита (%)
Индустриални IoT системи	01	15	2	10	120	87
Автономни транспортни системи	02	8	1	7	350	88
Видеонаблюдение публичен сектор	03	12	3	15	90	75
Здравни и телемедицинск и системи	04	10	0	5	200	100

— ***Здравни и телемедицински системи***

В болници и клиники мултимедийни потоци се използват за телемедицина – дистанционно наблюдение на пациенти, операции или консултации. В реален случай от Европа, използването на приложение за видеоразговор без криптиране е позволило на трета страна да достъпи медицински разговор между лекар и пациент. Системата е заменена с сертифицирана платформа за телемедицина с криптиране и съответствие с GDPR. Това подчертава нуждата от избор на правилна технология, особено когато се касае за чувствителна информация. На фиг. 5 е показано сравнение на инциденти преди и след мерки за защита.



Фиг. 5. *Сравнение на инциденти преди и след мерки за защита*

6. Бъдещи предизвикателства и иновации

С развитието на технологиите мултимедийните мрежи стават все по-интелигентни, гъвкави и интегрирани с други системи. Това носи ползи – по-добра ефективност, автоматизация и удобство – но също така създава нови вектори за атаки и усложнява сигурността. Много от бъдещите заплахи ще се появят на ново технологично ниво, изискващо адаптивна защита. Появяват се и нови концепции в сигурността – от децентрализирани архитектури и квантова криптография до изкуствен интелект и самозащита на системите. За да се справим с бъдещите предизвикателства, трябва не само да усъвършенстваме наличните технологии, но и да изградим нова култура на сигурност в дизайна и управлението на системите. [8], [9], [12]

— ***Квантова криптография и постквантова защита***

С навлизането на квантовите компютри, класическите криптографски алгоритми могат да станат лесно преодолими. Това създава нужда от „постквантова криптография“ – нови алгоритми, устойчиви на квантови атаки. Особено важно е това при мултимедийни потоци, където е нужна защита на данни в реално време. Използването на квантови комуникации и разпределение на криптографски ключове чрез квантова ентропия (QKD) вече се тества в някои чувствителни среди. Макар и скъпа и още в начален етап, тази технология обещава радикално повишаване на сигурността в бъдеще.

— ***Архитектура на нулево доверие (Zero Trust)***

Традиционният модел, при който устройствата вътре в мрежата се считат за „доверени“, вече не е ефективен. Zero Trust (нулево доверие) подходът изисква всяко действие, заявка или устройство да бъде проверено, независимо от неговото местоположение в инфраструктурата. Това означава, че всяко устройство – дори вътрешна камера или сензор – трябва да бъде автентикирано и мониторирано постоянно. Така се намалява възможността едно компрометирано звено да осигури достъп до цялата система. [7], [13]

— ***Изкуствен интелект за адаптивна защита***

ИИ системите вече се използват не само за откриване на аномалии, но и за прогнозиране на възможни атаки въз основа на предишни модели. Те могат автоматично да предприемат действия – изолиране на устройството, препращане на сигнал, блокиране на трафика и др. С развитието на edge ИИ – интелигентност, вградена в крайните устройства – защитата става още по-бърза и локална. Това намалява времето за реакция при атака и позволява на системата да се самозащитава в реално време.

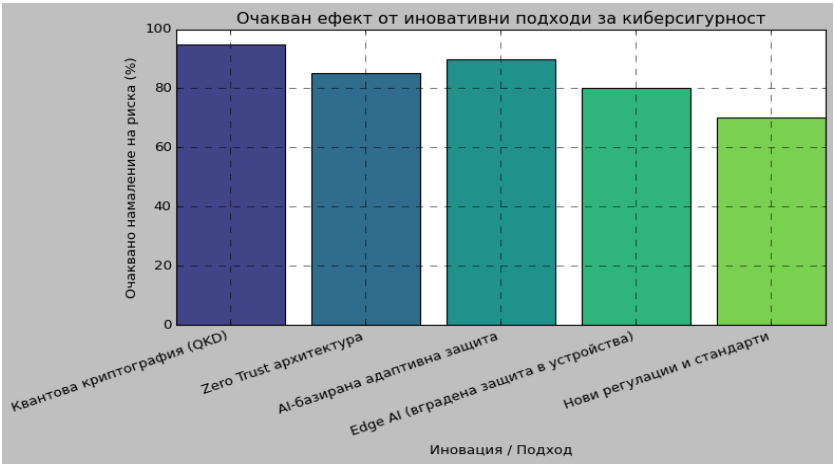
— ***Стандартизация и регулации***

Много от уязвимостите в мултимедийните мрежи произтичат от липсата на ясни стандарти и нормативни изисквания за сигурност. С навлизането на нови технологии става наложително регулаторите да разработят специфични правила за IoT, видеонаблюдение и автоматизирани системи. Очаква се в бъдеще да се въведат задължителни сертификати за сигурност на мултимедийни устройства, както и минимални изисквания за криптиране, автентикация и контрол на

достъпа. Така ще се създаде по-устойчива и предвидима среда за развитие на технологиите. На таблица 2 и фиг. 6 са дадени стойности и резултати.

Таблица 2. *Очаквани иновации и ефекти върху сигурността в мултимедийните мрежи*

Иновация/Подход	Очаквано внедряване (год.)	Степен на зрялост (1–5)	Очаквано намаление на риска (%)	Цена за внедряване (хил. лв.)	Автоматизация
Квантова криптография (QKD)	2030	2	95	500+	40
Zero Trust архитектура	2026	4	85	120	70
ИИ-базирана адаптивна защита	2025	3	90	200	90
Edge ИИ (вградена защита в устройства)	2026	3	80	150	95
Нови регулации и стандарти	2027	3	70	50	60



Фиг. 6. *Очакван ефект от иновативни подходи за киберсигурност*

Легенда:

- **Степен на зрялост (1–5)** – оценка на технологичната готовност (1 = експериментална, 5 = масова употреба)
- **Очаквано намаление на риска** – прогнозен процент на намаляване на киберзаплахи

• **Цена за внедряване** – ориентировъчни разходи за прилагане в една средноголяма мрежа

• **Автоматизация (%)** – степен на автономност, която технологията осигурява за защита

7. Заключение

В условията на нарастваща дигитализация и автоматизация, мултимедийните мрежи заемат все по-централно място в управлението, контрола и мониторинга на критични системи. Те предоставят възможност за предаване на аудио, видео и сензорна информация в реално време, което е от решаващо значение за бързата реакция и ефективността на процесите. Въпреки това, тяхната отвореност, свързаност с интернет и разнообразието от използвани устройства ги правят изключително уязвими към киберзаплахи. Разгледаните примери в статията ясно показват, че киберсигурността не е изолирана грижа, а неразделна част от проектирането и поддръжката на всяка автоматизирана система. Уязвимости като некриптирани комуникации, слаба автентикация, остарял фърмуер и отворени портове създават реална опасност от пробиви, които могат да доведат до икономически загуби, компрометиране на поверителна информация или дори застрашаване на човешки животи.

Ефективната защита изисква прилагане на многопластови подходи – от криптиране и контрол на достъпа, до внедряване на системи за мониторинг, ИИ-базирано откриване на аномалии и регулярен одит на сигурността. Особено важно е изграждането на култура на сигурност, при която всички участници – от проектанти и IT екипи до крайни потребители – имат ясно разбиране за рисковете и начините за тяхното минимизиране. С оглед на бъдещото развитие на технологии като изкуствен интелект, 5G и квантови изчисления, нуждата от адаптивни и интелигентни механизми за киберзащита ще става все по-належаща.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Boyle D., Zuev D., Tinnirello I., Real-Time Traffic Anomaly Detection in Industrial IoT Networks, 2020, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 7(8), ISSN 2327-4662, pp. 7234–7246

[2] Chen L., Zhang X., Huang Z., Secure Transmission of Multimedia Data in Industrial Wireless Sensor Networks, 2019, Sensors, Vol. 19(12), ISSN 1424-8220, pp. 2804–2817

[3] Hu H., Liu Y., Lin J., A Survey on Cybersecurity for Smart Manufacturing Systems, 2021, ACM Computing Surveys, Vol. 54(9), ISSN 0360-0300, pp. 1–36

[4] Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X., Deep Learning in Agriculture: A Survey on Cyber-Physical Integration, 2021, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 182, ISSN 0168-1699, pp. 105954

[5] Kumar P., Zeadally S., Mitigating Security and Privacy Threats in Smart Manufacturing Environments, 2022, Computer Standards & Interfaces, Vol. 81, ISSN 0920-5489, pp. 103608

[6] Linko Nikolov, Krasimir Slavyanov. On the contemporary cybersecurity threats. I st CONFSEC 2017, 11-14.12.2017, Borovets, ISSN Print: 2603-2945, ISSN Online: 2603-2953, стр. 142-144.

[7] Linko Nikolov.A Study on the interference resistance of m-psk modulation. Осма международна научна конференция - Хемус 2016, Сборник научни трудове, Институт по отбрана – София, ISSN 1312-2916.

[8] Uzun M. B., Atanasov V. T. Common conception of software-defined networks. Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Konstantin Preslavsky University Press, vol. XIII E, 2023, pp.112-119, ISSN 2815-4703.

[9] Stoyanova V. Analysis of the steganography in image whit mobile computing, V International Scientific Conference "ENGINEERING. TECHNOLOGIES. EDUCATION. SECURITY 2017, ISSN 2535-0315, ISSN 2535-0323.

[10] Tsankov Ts., Staneva L., Vardeva I., Iliev D. Generalized net model of a communication network using the Port Knocking method. Scientific Conference with international participation MATTEH 2022, Conference proceeding, Vol. 2, Shumen, 2022, ISSN 1314-3921, pp. 29-34.

[11] Hristova E., Tsankov Ts. Routing in WDM networks. Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XII E, Faculty of technical sciences, 2022, ISSN 1311-834X, pp. 179-187.

[12] Lee J., Bagheri B., Jin C., Cyber Physical Systems for Predictive Maintenance in Smart Manufacturing, 2019, Manufacturing Letters, Vol. 20, ISSN 2213-8463, pp. 10–14

[13] Mach P., Becvar Z., Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading, 2017, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19(3), ISSN 1553-877X, pp. 1628–1656

[14] Sadeghi A.R., Wachsmann C., Waidner M., Security and Privacy Challenges in Industrial Internet of Things, 2015, Proceedings of the 52nd Design Automation Conference, ISBN 978-1-4503-3520-1, pp. 1–6

[15] Tian Y., Zhang Y., Secure Video Streaming in IoT-Enabled Smart Environments, 2020, IEEE Access, Vol. 8, ISSN 2169-3536, pp. 67042–67054

СМАРТ КОНТРАКТИ В ДЕЦЕНТРАЛИЗИРАНИ СИСТЕМИ С КРИПТОГРАФСКА СИГУРНОСТ И ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ДОГОВОРНОТО ПРАВО

Борислав С. Борисов

SMART CONTRACTS IN DECENTRALIZED SYSTEMS WITH CRYPTOGRAPHIC SECURITY AND THE TRANSFORMATION OF CONTRACT LAW

Borislav S. Borisov

ABSTRACT: *This report examines smart contracts as a key element in the development of decentralized systems and as a factor for a profound transformation of traditional contract law. The analysis focuses on the essence of smart contracts, their technological mechanism of action and the role of cryptography in ensuring trust and security without the need for a central intermediary. Particular attention is paid to the way in which program code begins to perform functions traditionally inherent in legal norms and institutions. Smart contracts are not just a technical tool, but a new socio-economic mechanism for regulating relations between entities in a digital environment. The report also examines the concept of "Code is Law" as a philosophical and practical framework that questions the classical legal principles of interpretation, flexibility and judicial review. Both the potential benefits of this paradigm and the risks arising from full automation are analyzed. Additionally, the main vulnerabilities of smart contracts that arise as a result of human errors when writing the code and the irreversibility of actions in a blockchain environment are examined. These risks show that technological security does not always mean legal justice. Finally, the legal status of smart contracts in Bulgaria and the European Union is examined.*

KEYWORDS: *Smart contracts, Blockchain, Cryptography, Decentralized systems, Contract law*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25BSB

1. Въведение

В ерата на цифровата икономика традиционните правни механизми за уреждане на договорни отношения все по-често се сблъскват с ограничения, свързани с бавни процедури, високи транзакционни разходи и зависимост от посредници. Това води до намалена ефективност и ограничена конкурентоспособност в глобална дигитална среда. Нарастващият обем на онлайн транзакции, международни сделки и дигитални услуги изисква договорни форми, които да бъдат бързи, прозрачни и лесно приложими през граници. Традиционните договори често не отговарят на тези изисквания без значителни

административни и правни усилия. В този контекст блокчейн технологията предоставя възможност за изграждане на децентрализирани системи, в които доверието не се основава на институции, а на математически и криптографски принципи. Данните се съхраняват разпределено, а валидността им се гарантира от консенсус между участниците. Смарт контрактите, концепция въведена теоретично от Ник Сабо още през 90-те години, намират практическа реализация именно чрез блокчейн платформите. Те представляват естествено продължение на идеята за автоматизация и дигитализация на правните отношения. Настоящият доклад има за цел да анализира как смарт контрактите променят начина, по който се възприемат и изпълняват договорите. Особен акцент се поставя върху напрежението между технологичната детерминираност и правната гъвкавост. На фиг. 1 е показано сравнение между традиционни и смарт контракти. [1], [5], [9]



Фиг. 1. *Сравнение на традиционни и смарт контракти*

2. Същност и механизъм на действие на смарт контрактите

Смарт контрактът представлява компютърен протокол, реализиран под формата на програмен код, който автоматично изпълнява определени действия при настъпване на предварително дефинирани условия. Той функционира без необходимост от човешка намеса след внедряването си. За разлика от традиционния договор, който изисква тълкуване и принудително изпълнение чрез институции, смарт контрактът сам налага изпълнението си. Това води до радикална промяна в начина, по който се възприема договорното задължение. Записването на смарт контрактите в блокчейн среда гарантира тяхната прозрачност и неизменяемост. Всеки участник в мрежата може да провери логиката на договора, без да разчита на доверие към другата страна. След внедряването му договорът не може да бъде едностранно променян, което елиминира възможността за последващи манипулации. Тази характеристика създава висока степен на предвидимост в договорните отношения. По този начин смарт контрактите се превръщат в инструмент за автоматизация на икономически и правни процеси. Те намират приложение в области като финанси, застраховане, логистика и дигитална търговия. Същевременно тази автоматизация изисква изключително прецизно предварително моделиране на отношенията, тъй като всяка логическа неточност може да доведе до нежелани последици.

— ***Логиката „Ако–Тогава“ (If-This-Then-That)***

В основата на всеки смарт контракт стои логиката „ако–тогава“, която определя ясно и недвусмислено условията за изпълнение. Тази логика превръща договора в последователност от алгоритмични правила. Например, ако дадена страна извърши плащане в определен размер, тогава собствеността върху цифров или реален актив автоматично се прехвърля. Процесът се осъществява без субективна преценка. Тази логика елиминира тълкуването, характерно за традиционните договори. Кодът не допуска двусмислие, а изпълнява точно зададените инструкции. В резултат се постига висока степен на предвидимост и автоматизация. Това е особено полезно при масови и стандартизирани транзакции. От друга страна, липсата на гъвкавост може да се окаже проблем при непредвидени обстоятелства. Смарт контрактът не може самостоятелно да адаптира поведението си. Поради това тази логика е по-подходяща за ясно дефинирани отношения, отколкото за сложни правни казуси, изискващи човешка преценка. [4], [8], [13]

— ***Ролята на криптографията***

Криптографията е фундаментът, върху който се изгражда сигурността на смарт контрактите. Тя осигурява защита срещу неоторизирана промяна и достъп. Чрез хеширане се гарантира целостта на данните, като всяка промяна в кода води до напълно различен хеш. Това прави манипулациите лесно откриваеми. Публичните и частните ключове осигуряват дигитална идентичност на страните. Те заместват традиционния подпис и удостоверяват волята на участниците. Само притежателят на съответния частен ключ може да инициира действия, заложени в договора. Това минимизира риска от измама. По този начин криптографията заменя правните и институционални гаранции с математическа сигурност. Тя е основното техническо предимство на смарт контрактите. В същото време тази сигурност е безкомпромисна и не допуска изключения, което може да бъде проблем в правен контекст.

Таблица 1 показва показатели за ефективност при традиционни договори и смарт контракти. [2], [3], [11]

Таблица 1. *Показатели за ефективност при традиционни договори и смарт контракти*

Показател	Традиционен договор	Смарт контракт
Време за изпълнение	1–5 дни	10–60 секунди
Брой посредници	2–4	0
Транзакционни разходи	3–10%	0.1–1%
Вероятност от човешка грешка	Висока	Ниска
Необходимост от доверие	Да	Не
Автоматизация (%)	~10–20%	90–100%

3. Програмен код като закон

Концепцията „Code is Law“ изразява идеята, че в децентрализираните системи правилата се определят и налагат от софтуера. Кодът изпълнява ролята

на нормативна рамка. След като смарт контрактът бъде внедрен в блокчейн мрежата, той функционира автономно. Човешката намеса е практически невъзможна. Това поставя под въпрос традиционната роля на правото като коректив и арбитър. Съдилищата губят възможността да се намесват в реално време. Изпълнението се гарантира от алгоритми и консенсусни механизми. Правото се трансформира от интерпретативна система в изпълнителна логика. Въпреки това пълното подчинение на кода крие риск. Програмният код е създаван от хора и може да съдържа грешки. Това поражда необходимост от критичен подход към идеята, че кодът може напълно да замести правото. [6], [7]

— ***Предимства пред традиционните договори***

Едно от основните предимства на смарт контрактите е елиминирането на посредниците. Това значително намалява разходите по сделките. Автономността на кода позволява почти мигновено приключване на договорните отношения. Забавянията се свеждат до минимум. Доверието се прехвърля от институциите към технологията. Страните разчитат на прозрачността на кода. Това позволява взаимодействие между непознати субекти в глобална среда. Географските граници губят значение. Фиг. 2 показва споменатия работен цикъл. [10], [14]



Фиг. 2. *Работен цикъл на концепцията "Code is Law"*

4. Сигурност и уязвимости на смарт контрактите

Въпреки високото ниво на криптографска защита, смарт контрактите не са имунизирани срещу рискове. Основният проблем е човешкият фактор. Грешки в логиката или пропуски в сигурността могат да доведат до сериозни финансови загуби. Историята познава множество такива случаи. Изпълнението е автоматично и необратимо. Това означава, че грешките не могат лесно да бъдат

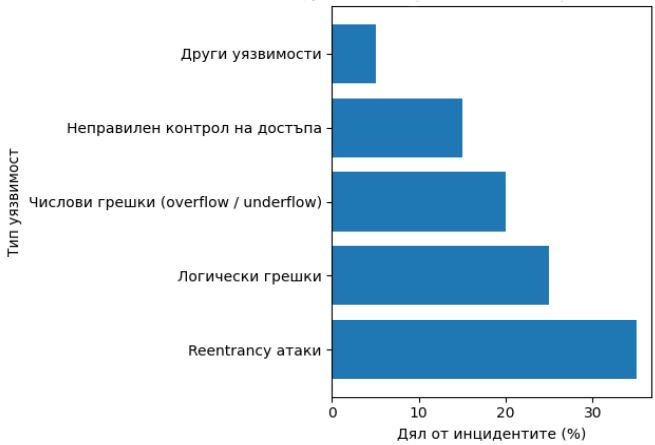
коригирани. Последствията често са окончателни и засягат всички участници. Това повишава значението на предварителната проверка. Възниква въпросът за отговорността при дефектен код. Традиционните правни концепции трудно се прилагат. Необходимостта от допълнителни защитни механизми става все по-очевидна.

— ***Одит на кода***

Одитът на смарт контрактите представлява систематична проверка на кода от специализирани експерти. Той е аналог на правната проверка. Целта е откриване на логически грешки, уязвимости и сценарии за злоупотреба. Процесът е комплексен. Често срещани проблеми са reentrancy атаки и числови грешки. Те могат да имат сериозни последици. Навременното им идентифициране предотвратява загуби. Одитът намалява риска. Той се утвърждава като стандартна практика. Без него доверието е ограничено. Одитът е ключов елемент за устойчиво развитие на децентрализираните приложения. На таблица 2 е показана честотата на възможни уязвимости. Фиг. 3 показва разпределение на уязвимости. [6], [11], [12]

Таблица 2. *Честота и типове уязвимости в смарт контракти*

Тип уязвимост	Процент от инцидентите	Средна финансова загуба
Reentrancy атаки	~35%	5–30 млн. USD
Грешки при числа	~20%	1–10 млн. USD
Логически грешки	~25%	500 хил. – 5 млн. USD
Неправилен контрол на достъпа	~15%	100 хил. – 2 млн. USD
Други	~5%	<100 хил. USD



Фиг. 3. *Разпределение на уязвимости*

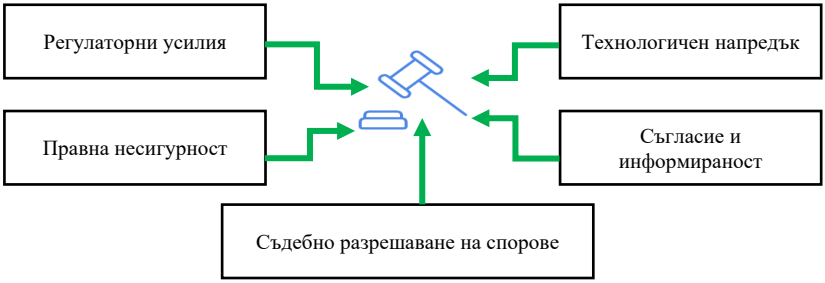
— ***Необратимост на грешките***

Една от най-съществените разлики между традиционното право и смарт контрактите е необратимостта. Съдебната намеса е ограничена. В правната система съдът може да коригира грешки или да обяви договор за нищожен. Това не е възможно при код. При смарт контрактите кодът се изпълнява точно както е написан. Намеренията на страните са ирелевантни. Уязвимостите могат да бъдат експлоатирани напълно легитимно от гледна точка на мрежата. Това поражда етични дилеми. Предварителната проверка става критично важна. [7], [14]

5. Правен статут на смарт контрактите в България и Европейския съюз

Правният статут на смарт контрактите представлява едно от най-сериозните предизвикателства пред съвременното договорно право, тъй като тази технология възниква и се развива по-бързо от нормативната уредба. В българското законодателство към момента не съществува изрична дефиниция на понятието „смарт контракт“, което създава правна несигурност при тяхното практическо прилагане и при възникване на спорове между страните. На практика смарт контрактите се разглеждат индиректно през съществуващи правни институти, най-вече чрез Закона за електронния документ и електронните удостоверителни услуги (ЗЕДЕУУ). В този смисъл те могат да бъдат квалифицирани като електронни документи, съдържащи изявления на воля в дигитална форма. Този подход обаче не отчита напълно спецификата на смарт контрактите, тъй като те не са просто електронно изразена договореност, а автономен механизъм за изпълнение. Съществен правен въпрос е този за съгласието на страните и информираността им относно последиците от автоматизираното изпълнение. За да бъде смарт контрактът признат като обвързващ, страните следва ясно и недвусмислено да са приели, че програмният код има договорна сила и че неговото изпълнение замества или допълва традиционните правни механизми. Това поставя високи изисквания към техническата грамотност на участниците и създава риск от неравнопоставеност. Допълнителна трудност възниква при съдебното разрешаване на спорове. Традиционно съдът тълкува текстуални клаузи и изследва волята на страните, докато при смарт контрактите предмет на анализ е програмен код. Това налага използването на технически експертизи и създава необходимост от нов тип съдебна практика, която съчетава правни и технологични знания. На равнище Европейски съюз се наблюдава активен процес на регулаторна адаптация към блокчейн технологиите. Регламенти като MiCA и други инициативи в областта на дигиталните финанси и цифровата икономика създават предпоставки за по-ясно правно третиране на децентрализираните системи. Макар смарт контрактите все още да не са уредени като самостоятелен правен институт, се очертава тенденция към тяхното нормативно признаване. В дългосрочен план може да се очаква създаването на специализирана правна рамка, която да отчита автономния характер на смарт контрактите, да регламентира отговорността при дефектен код и да осигури баланс между иновациите и защитата на участниците в договорните

отношения. На фиг. 4 са показани предизвикателствата и решения в правното признаване на смарт контрактите. [8], [10]



Фиг. 4. *Предизвикателства и решения в правното признаване на смарт контрактите*

6. Изчислителен модел на смарт контракт в децентрализирана система

Смарт контрактите могат да бъдат разглеждани не само като програмен код, но и като формален изчислителен модел, който описва изпълнението на договорни отношения чрез строго дефинирани състояния, правила и криптографска сигурност. В този контекст договорът се трансформира от текстуална правна конструкция в детерминирана изчислителна система. [1], [13]

— ***Формализация на смарт контракта***

Нека смарт контрактът бъде дефиниран като краен автомат:

$$SC = (S, I, T, s_0, F) \tag{1}$$

където:

S е крайно множество от състояния на договора

I е множество от входни събития (транзакции, външни данни, времеви условия)

$T: S \times I \to S$ е функция на преход

$s_0 \in S$ е началното състояние

$F \subseteq S$ е множеството от крайни състояния

Примерно множество от състояния може да бъде:

$$S = \{\text{Сключен}, \text{Активен}, \text{Изпълнен}, \text{Нарушен}, \text{Прекратен}\} \tag{2}$$

➢ ***Договорни условия като логически правила***

Всяка договорна клауза може да бъде представена като условно правило от вида:

$$C_i: (condition_i) \Rightarrow (action_i) \tag{3}$$

Например, клауза за плащане:

$$C_1: (t \leq t_{deadline} \wedge payment = true) \Rightarrow s_{next} = \text{Изпълнен} \tag{4}$$

Клауза за неизпълнение:

$$C_2: (t > t_{deadline} \wedge payment = false) \Rightarrow s_{next} = \text{Нарушен} \quad (5)$$

Така договорът може да бъде разглеждан като множество от клаузи:

$$Contract = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (6)$$

— ***Модел на състоянието и преходите***

Състоянието на договора в момент t може да се опише като:

$$s(t+1) = T(s(t), i(t)) \quad (7)$$

където:

$s(t)$ е текущото състояние

$i(t)$ е входното събитие (транзакция или данни)

Тъй като смарт контрактите са детерминирани, за всяка двойка (s, i) съществува точно едно следващо състояние.

— ***Криптографска сигурност на модела***

Валидността на входните събития се гарантира чрез цифрови подписи. Нека t_x е транзакция, подписана от страна A:

$$sig = Sign_{sk_A}(hash(t_x)) \quad (8)$$

Проверката на автентичността се извършва чрез:

$$Verify_{Pk_A}(sig, hash(t_x)) = true \quad (9)$$

Само при валиден подпис преходната функция T се изпълнява, което осигурява: автентичност, неизменимост, неотричане

— ***Правна интерпретация на модела***

В представения изчислителен модел:

— договорното съгласие се моделира чрез началното състояние $s0$

— изпълнението на задълженията е автоматизирано чрез преходната функция

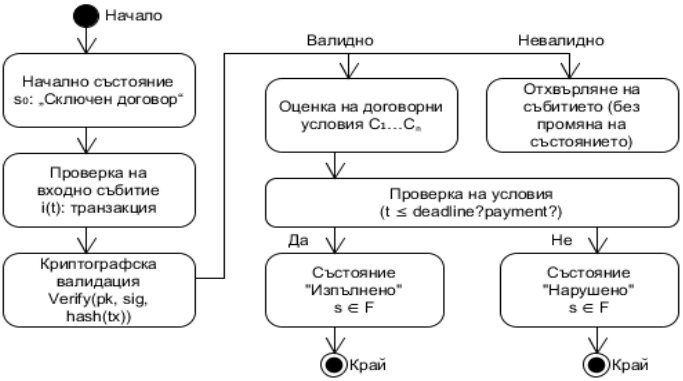
— санкциите при неизпълнение са вградени в логиката на системата

Това води до трансформация на традиционното договорно право, при която правоприлагането се измества от институционални механизми към изчислителни правила, изпълнявани в децентрализирана среда. На фиг. 5 е показана блокова схема на изчислителния модел. [2], [9]

7. Заключение

Смарт контрактите представляват качествено нов етап в развитието на договорните отношения, като пренасят изпълнението на договорите от правната сфера в технологичната. Те въвеждат автоматизация, прозрачност и нов модел на доверие, основан не на институции, а на криптографски и алгоритмични механизми. Въпреки това смарт контрактите не могат да бъдат разглеждани като пълна замяна на традиционното договорно право. Правото изпълнява функции,

които трудно могат да бъдат автоматизирани, като тълкуване на волята, съобразяване с конкретни житейски обстоятелства и защита на по-слабата страна по договора. Именно тук се проявяват ограниченията на принципа “Code is Law”. Основното предизвикателство пред бъдещото развитие на смарт контрактите е намирането на устойчив баланс между техническата строгост на програмния код и необходимостта от правна гъвкавост. Пълното подчинение на договорните отношения на автоматизирани правила може да доведе до формално коректни, но социално несправедливи резултати при грешки или непредвидени ситуации. От особено значение е и трансформацията на ролята на правните специалисти. Вместо да се включват основно на етап спор, юристите все по-често ще участват още при проектирането на договорната логика и превеждането ѝ в програмна форма. Това изисква интердисциплинарен подход и нов тип експертиза. В заключение може да се приеме, че бъдещето на смарт контрактите принадлежи на хибридните модели, в които технологиите автоматизират изпълнението, а правната система осигурява контрол, защита и корекция при необходимост. Само чрез такова взаимодействие между право и технология може да се постигне устойчиво и справедливо развитие на децентрализираните договорни отношения.



Фиг. 5. *Блокова схема на изчислителния модел*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Беджев Б. Й., Цанков Ц. С., Станева Л. А. Свиващ генератор на псевдослучайни последователности, формирани чрез нелинейни функции. Научна конференция „Защитата на личните данни в контекста на информационната сигурност“, факултет „Артилерия, ПВО и КИС“, Шумен, 2013, ISBN 978-954-9681-49-9, с. 141-149.

[2] Накова, С. (2022). Правни аспекти на блокчейн технологиите и смарт контрактите. София: Сиела.

[3] Българска Финтех Асоциация. (2024). Доклад за състоянието на Финтех сектора в България: Блокчейн и иновации.

[4] Цанков Ц. С. Приложения на нелинейните функции за защита на информацията в комуникационните системи. Университетско издателство „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2018, 204 с., ISBN 978-619-201-212-0.

[5] Denev D., Konstantinova E., Main Issues in the Protection of Information in the system of National and Corporate Security, 2020, Conference with international participation MATTEH 2020, Conference Proceedings, vol. 2 Communication and Computer Technologies, ISSN 1314-3921, pp. 110-115.

[6] Denev D., Tsankov Ts., Use in Internet of Protocols Transport Layer Security and its Now-Deprecated Predecessor Secure Sockets Layer, 2018, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. X E, Faculty of technical sciences, ISSN 1311-834X, pp. 94-101.

[7] Denev D., Konstantinova E., Ismail T., Cybersecurity – International and National Dimensions, 2019, Cadet-Students Scientific Conference, Collection of Papers, National Military University „Vasil Levski”, Veliko Tarnovo, ISSN 2367-7481, pp. 300-310.

[8] Denev D., Modeled Security in Communication Network Coding, 2022, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XII E, Faculty of technical sciences, ISSN 1311-834X, pp. 153-161.

[9] Iliev D., Denev D., Computer Security and Traffic Management in Communication Networks, Conference with international participation MATTEH 2024, Conference Proceedings, vol. 2 Communication and Computer Technologies, ISSN 1314-3921, pp. 161-169

[10] Denev D., Dimitrova E., Security and Vulnerabilities in Zigbee Technology, 2024, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIV E, Faculty of technical sciences, ISSN 1314-8818, pp. 92-97

[11] Denev D., Hatib I., Cyber Intelligence and Integrated Cybersecurity Solutions, 2024, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIV E, Faculty of technical sciences, ISSN 1314-8818, pp. 121-128

[12] Danev A., Denev D., Problems and Strategies for Ensuring Security of the Information Technology Environment, 2025, XVIII International Scientific Conference on Innovations in Technology and Education, Belovo, ISBN 978-5-00137-315-5 (item 2), ISBN 978-5- 00137-528-9, pp. 110-116.

[13] Stoyanova V. Research of the characteristics of a steganography algorithm in images when using different alphabet. In: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference. Volume IV. 2024. p. 259.

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

АНАЛИЗ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА МЕТОДИТЕ ЗА НЕДЕСТРУКТИВЕН КОНТРОЛ ПРИ ТЕХНИЧЕСКИ ПРЕГЛЕД НА СЪОРЪЖЕНИЯ ПОД НАЛЯГАНЕ

Александра П. Дочева, Даниел Р. Денев

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS IN TECHNICAL INSPECTION OF PRESSURE EQUIPMENT

Aleksandra P. Docheva, Daniel R. Denev

ABSTRACT: *This report examines the effectiveness of various non-destructive testing (NDT) methods applied in the technical inspection of pressure equipment, with a focus on domestic water heaters and similar appliances. The aim is to analyze which methods offer the best reliability, cost-effectiveness and applicability in a practical environment, without compromising the integrity of the equipment. A theoretical study of the main NDT methods – ultrasonic, visual, X-ray, capillary and others – has been carried out, as well as a comparative analysis between them. Based on the analysis, the advantages and limitations of each method in relation to the materials, construction and purpose of the pressure equipment are discussed. The report concludes with recommendations for choosing the optimal control method, consistent with the safety requirements and the regulatory framework in Bulgaria and the EU. Guidelines for increasing the effectiveness of technical control through automation and new technologies are also presented.*

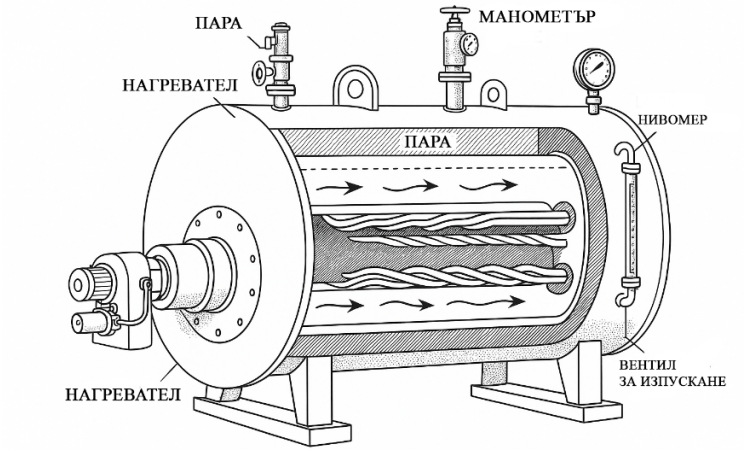
KEYWORDS: *Non-destructive testing, Boiler, Technical inspection, Safety, Ultrasonic method, Visual inspection, X-ray inspection, Capillary method*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25ADD

1. Въведение

Съоръженията под налягане, включително битовите електрически бойлери, са широко разпространени в индустрията и домакинствата. Поради естеството на работа с високо налягане и температура, те представляват потенциален риск за човешкия живот и имуществото при експлоатационни повреди. Именно затова техническият преглед преди пускането им в експлоатация е от съществено значение. Недеструктивният контрол (НДК) е ключов компонент в този процес, тъй като позволява откриване на скрити дефекти без повреда на самото съоръжение. Разнообразието от методи и технологии поставя въпроса кой от тях е най-подходящ в даден контекст, особено когато става дума за масова проверка на бойлери в производствена или сервизна среда. Целта на настоящата статия е да анализира ефективността на най-често

прилаганите НДК методи и да предложи насоки за оптималния избор и прилагане. На фиг.1 е показана общата представа на котел.



Фиг. 1. *Обща представа на съоръжение под налягане*

В практиката, особено при серийно производство или сервизна поддръжка на бойлери, техническият преглед трябва да бъде едновременно надежден и икономически ефективен. Това изисква прилагане на подходящи методи за откриване на дефекти, без да се уврежда конструкцията на уреда. Недеструктивните изпитвания предоставят гъвкав и безопасен начин за оценка на качеството, което е особено важно за съоръжения, които работят под налягане и често са разположени в жилищни или обществени сгради. Съществуват редица регулации и стандарти, които определят условията за допускане до експлоатация на такива уреди – както на национално, така и на европейско ниво. Неспазването на изискванията може да доведе до сериозни аварии, наранявания или значителни материални щети. Затова прилагането на ефективни и точни методи за НДК не е просто добра практика – то е критичен елемент от системата за управление на техническата безопасност. [1], [9], [14]

2. Теоретичен преглед на методите за недеструктивен контрол

Недеструктивният контрол обединява съвкупност от методи и технологии, чиято цел е да се открият дефекти, повреди и отклонения в материалите или конструкцията, без да се разрушава изпитваният обект. Това го прави незаменим инструмент при контрола на съоръжения под налягане, където целостта на компонентите е критична за безопасността. В контекста на бойлерите и други съдове под налягане, НДК позволява бърза оценка на състоянието, особено при серийни проверки или периодични инспекции. Различните методи за НДК се различават по своята физическа основа, необходимата апаратура, обхвата на откриваемите дефекти и приложимостта към различни материали.

Изборът на подходящ метод зависи от редица фактори: вид и размер на съоръжението, видове дефекти, очаквани условия на експлоатация и разходна ефективност. Всеки метод има своите силни страни и ограничения, което налага добри познания и правилна оценка при прилагането му.

В следващите подточки ще бъдат разгледани най-разпространените методи на НДК, които намират приложение при технически преглед на съдове под налягане, включително бойлери. За всеки метод ще се разгледат принципът на действие, възможностите за откриване на дефекти, предимствата, ограниченията и конкретната приложимост към този тип съоръжения.

— ***Визуален контрол***

Визуалният контрол е най-елементарният, но също така и най-широко използваният метод за първична оценка на състоянието на съоръженията. Той се прилага както при новопроизведени изделия, така и при периодични проверки в експлоатация. Методът изисква минимално оборудване – обикновено се използва визуална инспекция на достъпните повърхности с помощта на лампа, лупа или видеобороскоп. Основната цел на визуалния контрол е откриването на явни повърхностни дефекти като пукнатини, корозия, деформации, лоши заваръчни шевове, утечки или механични повреди. Макар и ограничен до видимите дефекти, този метод често служи като отправна точка за по-задълбочени изследвания чрез други методи на НДК. [3], [13], [17]

Обяснение:

Визуалният контрол позволява откриване на дефекти с големина от порядъка на милиметри, които могат да бъдат индикация за по-сериозни проблеми в структурата на съоръжението. Методът е особено подходящ при масови прегледи на бойлери, където бързината на оценката е от ключово значение. Той обаче не може да открива скрити вътрешни дефекти или микропукнатини, което налага допълнително изследване с други методи.

— ***Ултразвуков контрол***

Ултразвуковият метод се основава на разпространението на високочестотни звукови вълни в материала и анализ на отраженията от вътрешни граници или дефекти. При наличие на несъвършенства в структурата, част от вълните се отразяват и се засичат от приемника, като по този начин се установява наличие, позиция и размер на дефекта. Методът изисква използване на специализирана апаратура – ултразвуков дефектоскоп и сонда, както и контактна среда (гел или вода) между сондата и повърхността. Изисква се висока квалификация на оператора, тъй като правилното тълкуване на резултатите е от решаващо значение за точността на оценката.

Обяснение:

Ултразвуковият контрол позволява откриване на вътрешни пукнатини, пори, включвания и разслоявания в материала. Подходящ е за контрол на корпуси и заваръчни шевове на бойлери, особено при съмнение за скрити дефекти след дълъг период на експлоатация. Методът има висока чувствителност, но ограничена ефективност при много тънки материали и силно грапави повърхности.

— ***Рентгенографски контрол***

Рентгеновият контрол е базиран на преминаването на йонизиращо лъчение (рентгенови или гама лъчи) през материала и регистриране на полученото изображение върху филм или цифров сензор. При преминаване през дефектни зони (напр. кухини, пукнатини, включвания) се наблюдават изменения в плътността на изображението, които се анализират. Методът е особено ефективен при сложни геометрии и при търсене на обемни дефекти. За да бъде безопасен за персонала, се прилага в екранирани помещения или с използване на специални защитни средства.

Обяснение:

Рентгеновият контрол осигурява визуална картина на вътрешността на съоръжението, като открива дефекти с висока точност. В контекста на бойлери се използва ограничено – главно при прототипи, нови серии или при съмнения за сериозни структурни проблеми. Основните му недостатъци са високата цена, необходимостта от специализирана инфраструктура и рисковете, свързани с радиация.

— ***Капилярен контрол***

Капилярният метод използва физичния принцип на проникване на течности в повърхностни пукнатини и пори. Обикновено се използват оцветени или флуоресцентни проникващи течности, които се нанасят върху повърхността и след определено време се почистват. След това се нанася проявител, който изтегля течността обратно от дефектите и я визуализира. Методът е лесен за прилагане, не изисква скъпа апаратура и осигурява добра видимост на повърхностни несъвършенства. Той обаче не може да открива вътрешни дефекти и не е приложим върху силно абсорбиращи повърхности.

Обяснение:

Капилярният метод е особено полезен при контрол на заваръчни шевове, които са най-критичните зони при бойлерите. Методът е чувствителен към микропукнатини, които не са видими с просто око, и се използва често в комбинация с визуалния контрол. Предимството му е ниската цена и възможността за бързо приложение при серийни проверки. [4], [5], [12]

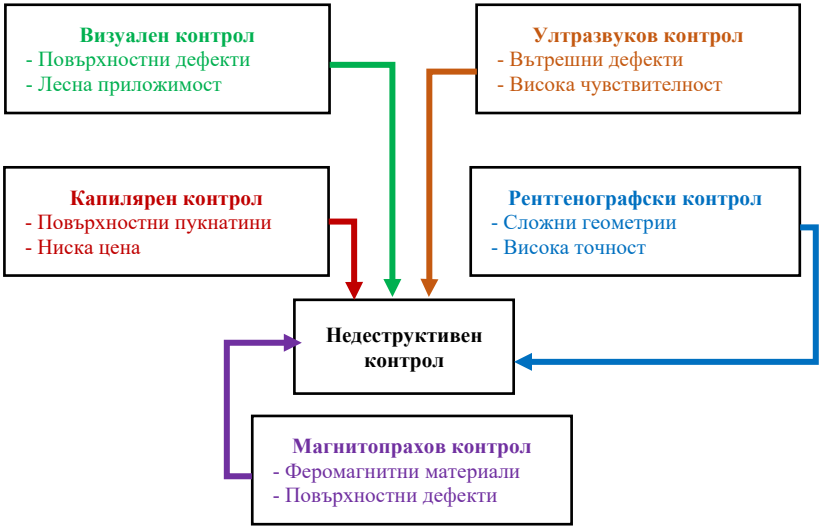
— ***Магнитопрахов контрол***

Магнитопраховият метод се използва само при феромагнитни материали, каквито са повечето конструкционни стомани. При намагнитяване на детайла, около дефектите се образуват локални магнитни полета, които привличат фин магнитен прах. Така се получава визуализация на дефекта. Методът изисква специална апаратура за създаване на магнитно поле и обикновено се използва в производствени среди. Осигурява добра чувствителност към повърхностни и близкоповърхностни дефекти.

Обяснение:

Магнитопраховият контрол може да открива пукнатини, шлакови включвания и други дефекти по заварките и корпуса на съда. Подходящ е при бойлери, изработени от въглеродна стомана, но не може да се прилага при неръждаема стомана или цветни метали. Методът е особено ефективен при

откриване на дефекти, разположени напречно на магнитното поле. На фиг. 2 са показани методи за недеструктивен контрол.



Фиг. 2. *Методи за недеструктивен контрол на съоръжения под налягане*

3. Анализ на приложимостта на методите за недеструктивен контрол при технически преглед на бойлери

Съдовете под налягане, каквито са бойлерите, подлежат на редовен технически контрол с цел гарантиране на безопасната им експлоатация. Особеностите на конструкцията на бойлера – цилиндрична обвивка, сферични капаци, заваръчни съединения и наличие на нагревателни елементи – изискват прецизно подбрани методи за контрол. Освен това, бойлерите обикновено работят при температури около $60 - 80°C$ и налягания до 10 бара, което прави надеждността на съда от решаващо значение за избягване на повреди и инциденти. При техническия преглед на бойлери се цели откриване на различни видове дефекти: корозия, пукнатини, отслоявания, лошо изпълнени или деградирали заваръчни шевове. [2], [10], [16]

— ***Визуален контрол***

Визуалният контрол е задължителна част от всеки преглед на бойлер. Обикновено се извършва както от външната, така и от вътрешната страна на съда (когато това е възможно – напр. при подменени фланци или ревизионни отвори). Методът позволява откриване на повърхностна корозия, отлепени участъци от емайла, следи от течове или износени уплътнения. Тъй като не изисква скъпо оборудване, визуалният контрол се извършва при всяка периодична инспекция.

— ***Ултразвуков контрол***

Ултразвукът е много ефективен при установяване на корозионно изтъняване на стените на съда. При бойлери, особено стари или без антикорозионна защита, съществува риск от локално изтъняване, което може да доведе до пробив. Чрез ултразвукови дебеломери може точно да се измери дебелината на стената на корпуса и да се сравни с проектната. Освен това, ултразвукът се използва за проверка на състоянието на заваръчните съединения, особено на дъната, където най-често се наблюдават дефекти.

— ***Рентгенографски контрол***

Поради своята цена и специфични изисквания, рентгеновият контрол не се използва масово при технически прегледи на битови или малки промишлени бойлери. Въпреки това, той намира приложение при производствен контрол на нови съоръжения – за контрол на качеството на заваръчните шевове. Възможно е да се използва и в случаи, когато се налага детайлен анализ при съмнения за сериозен дефект, който не може да се потвърди с други методи.

— ***Капилярен контрол***

Капилярният метод е много подходящ за изследване на повърхностни пукнатини по заварки, особено когато повърхността е гладка и почистена. При бойлери може да се използва за контрол на вътрешните или външни заваръчни съединения, особено ако при визуален преглед се установят подозрителни участъци. Методът е лесен за приложение и не изисква скъпо оборудване, което го прави добър избор за допълнителен контрол. На фиг. 3 са показани методи за инспекция. [6], [9], [14]



Фиг. 3. *Методи за инспекция на бойлери*

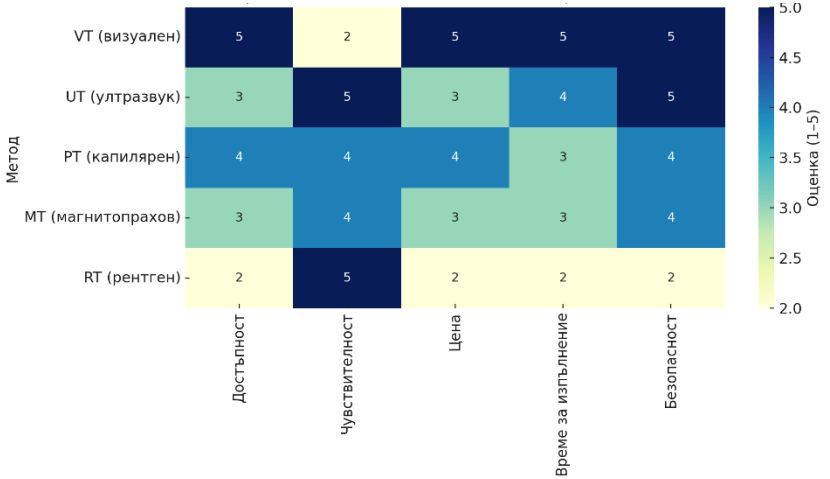
— ***Магнитопрахов контрол***

Този метод се прилага при бойлери, изработени от феромагнитна стомана. Най-често се използва за контрол на заваръчни шевове по дъното или фланците.

Методът е ефективен за откриване на повърхностни и близкоповърхностни пукнатини, особено при съмнения за умора на материала в резултат на циклично натоварване. Недостатък е, че не може да се прилага при неръждаеми бойлери или при наличие на силно боядисана или корозирала повърхност. На фиг. 4 и таблица 1 са показани сравнения на методите по приложимост и резултатите.

Таблица 1. *Сравнение на методите по приложимост*

Метод	Откриваеми дефекти	Подходящ за бойлери	Цена	Трудоемкост
VT	Видими пукнатини	Да	Ниска	Ниска
UT	Вътрешни дефекти	Да	Средна	Средна
RT	Вътрешни и сложни дефекти	По-рядко	Висока	Висока
PT	Повърхностни пукнатини	Да	Ниска	Средна
MT	Повърхностни и подповърхностни	Само при феромагнитни материали	Средна	Средна

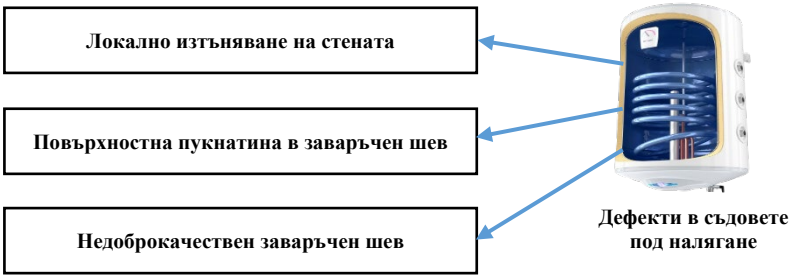


Фиг. 4. *Сравнение на методите за недеструктивен контрол по ключови критерии*

В практиката най-често се използва комбинация от визуален контрол и ултразвуково измерване на дебелина, което осигурява бърза и надеждна оценка на състоянието на бойлера. При съмнение за дефекти по заварките се прилагат капилярен или магнитопрахов контрол, в зависимост от материала. Рентгеновият метод е резервиран за специфични случаи или контрол в производството. [5], [7]

4. Примерни случаи и анализ на установени дефекти при бойлери

В хода на техническите прегледи на съдове под налягане се установяват разнообразни видове дефекти, свързани както с експлоатационно износване, така и с производствени несъвършенства. Натрупаната практика показва, че определени типове повреди са по-често срещани при бойлерите, особено при продължителна експлоатация, некачествен монтаж или липса на регулярна поддръжка. В тази част ще бъдат разгледани три характерни случая на дефекти, открити чрез методи за недеструктивен контрол, с цел онагледяване на значимостта на периодичния преглед и правилния подбор на контролни средства. На фиг. 5 е показано разкриване на дефекти в бойлери.



Фиг. 5. *Разкриване на дефекти в съдовете под налягане*

- *Случай 1: Локално изтъняване на стената поради вътрешна корозия*

Обстоятелства:

При преглед на битов бойлер с обем 120 литра и 10-годишна експлоатация, монтиран в зона с високо съдържание на варовик във водата, е извършено ултразвуково измерване на дебелината на стената. Резултатите показват участък с дебелина под допустимия минимум (намаление с над 40% спрямо проектната стойност).

Откритие:

Установено е наличие на локална вътрешна корозия в долната част на съда, близо до нагревателя. Причината – натрупване на котлен камък и нарушена антикорозионна защита (анодът е напълно изразходван).

Анализ:

Този случай подчертава значението на редовния технически контрол и подмяна на магнезиевия анод. Ултразвуковият метод се оказва особено ефективен при диагностика на подобни невидими, но опасни дефекти.

- *Случай 2: Повърхностна пукнатина в заваръчен шев*

Обстоятелства:

Промишлен бойлер от неръждаема стомана, използван за нагряване на вода в хранително-вкусова фабрика, е подложен на визуален и капилярен контрол при рутинна инспекция след 5 години работа.

Откритие:

При капилярната проверка на надлъжния заваръчен шев е открита тънка повърхностна пукнатина с дължина около 6 mm, която не се е забелязвала при визуалния контрол.

Анализ:

Въпреки че повърхностният дефект изглежда незначителен, при съоръжения под налягане всяка пукнатина носи риск от развитие и разкъсване. Навременното ѝ откриване позволява незабавно отстраняване (зацикляне и повторно заваряване), като се избягва спиране на производствения процес или инцидент.

- *Случай 3: Недоброкачествен заваръчен шев от производството*

Обстоятелства:

При входящ контрол на нова партида бойлери, доставени за монтаж в жилищна сграда, се извършва рентгенографски анализ поради съмнения за производствени отклонения.

Откритие:

На две от петте проверени изделия се откриват пори и шлакови включвания в основния надлъжен заваръчен шев. Дефектите не са били установени при фабричния контрол.

Анализ:

Този случай подчертава значението на качествения входящ контрол при нови съоръжения. Откритите дефекти могат да се превърнат в стартова точка за пукнатини по време на експлоатация. Рентгенографският метод, въпреки високата си цена, се оказва решаващ за предотвратяване на бъдещи аварии.

В обобщение на установените тенденции може да се каже че най-честите дефекти, установявани при бойлери, са свързани с:

— ***Корозионно изтъняване*** – особено при по-стари съдове без подменян анод

— ***Дефекти в заварки*** – включително пукнатини и шлакови включвания

— ***Повърхностни несъвършенства*** – често невидими с просто око

От практиката става ясно, че комбинираното използване на визуален, ултразвуков и капилярен контрол дава най-добра оценка за реалното състояние на бойлера. Редовните проверки удължават живота на съоръженията и намаляват риска от инциденти. [6], [15]

5. Приложение на метода FMEA за оценка на риска при дефекти в бойлери

Оценката на риска при експлоатация на съоръжения под налягане, каквито са битовите и промишлените бойлери, е от съществено значение за осигуряване на здравето и безопасността на персонала и крайните потребители. Възможните повреди – като корозия, пробиви в налягане, дефектни клапани или

електрически неизправности – могат да доведат до сериозни инциденти, включително експлозии и токови удари. За систематизиране на анализа и приоритизиране на рисковете, широко се използва методът FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Методологията позволява предварителна (превантивна) идентификация на възможни повреди, оценка на тяхната честота, вероятност и последствия, и изчисляване на числова стойност на риска – Risk Priority Number (RPN). Това подпомага вземането на решения относно нуждата от допълнителен контрол.

В таблици 2, 3, 4 и 5 до тук са представени основните критерии за оценка на риска по метода FMEA, адаптирани конкретно към характеристиките на бойлерите като съоръжения под налягане. След това са анализирани примерни сценарии с реални или хипотетични дефекти и съответните RPN стойности.

Таблица 2. *Вероятност от възникване на опасност*

Вероятност	Описание
0, 1	Теоретично невъзможен отказ (напр. двойна независима защита)
0, 2	Изключително рядко, при силно износване или корозия в краен стадий
0, 5	Проявява се в около 1% от проверените съоръжения
1	Възниква при 10% от инспектираните бойлери (например неправилно окабеляване)
3	Наблюдава се в около половината от случаите с по-стари съоръжения
6	Проявява се в повечето случаи при неподдържани бойлери
10	Почти сигурно възниква при всяка проверка на рискови съоръжения

Контекст: Възможност дадена опасност или повреда да се прояви по време на експлоатация или технически преглед на бойлер.

Таблица 3. *Честота на излагане на опасността*

Честота на експозиция	Описание
0, 5	Изключително рядко – напр. при годишни проверки
1	Рядко – до 1 час седмично при профилактика
2	Ниска – периодично, до 1 час дневно, напр. при монтаж/демонтаж
3	Средна – до 1/3 от работното време, особено при интензивен сервиз
6	Висока – честа работа с бойлери и подмяна на елементи
10	Постоянна експозиция – технически лица работят с бойлери ежедневно

Контекст: Колко често персоналът (инспектор, техник) е изложен на конкретна опасност по време на работа със или около бойлер под налягане.

Таблица 4. *Последствия за здравето и живота при реализация на опасността*

Последствия	Описание
1	Незначителни – леки наранявания (порязвания, драскотини)
3	Значителни – временна загуба на работоспособност, напр. изгаряния I ст.
7	Сериозни – инвалидност или хронично заболяване, напр. изгаряния III ст.
15	Фатални – смърт на 1 или 2 лица при експлозия или токов удар
40	Катастрофални – множество жертви при разрушение на помещение

Контекст: Потенциалната тежест на инцидент, свързан с бойлер под налягане – включително механичен взрив, изгаряне, токов удар и други.

Таблица 5. *Нива на риска и препоръчителни действия според стойността на RPN*

RPN стойност	Критична оценка	Действие
RPN ≤ 20	Незначителен риск	Не се изискват допълнителни мерки, освен текущите
20 < RPN ≤ 70	Умерен, овладян риск	Наблюдение и периодичен контрол на съответните параметри
70 < RPN ≤ 200	Недостатъчно овладян риск	Планиране на технически мерки и подобрения в разумен срок
200 < RPN ≤ 400	Висок, неефективно овладян риск	Приоритетно отстраняване на риска, реорганизация на процедурите
RPN > 400	Критичен риск	Незабавно прекратяване на дейността и въвеждане на спешни мерки

Контекст: Вземане на решения за действия по обезопасяване според комбинирания риск.

6. Обобщение на резултатите и насоки за оптимизиране на контролната практика

Изследването показа, че при техническия преглед на съоръжения под налягане, каквито са бойлерите, надеждността на диагностиката зависи основно от комплексното приложение на методите за недеструктивен контрол. Нито един метод самостоятелно не е универсален – всеки притежава своя специфична област на чувствителност и ограничения, които трябва да бъдат отчетени при избор на подход. [8], [11]

Чрез анализ на реални случаи се потвърждава, че визуалният контрол остава задължителна начална стъпка, но често не е достатъчен за откриване на критични дефекти като изтъняване на стената или пукнатини в заварките. Затова

се препоръчва съчетаване на VT с UT и допълнителни методи като PT или MT, в зависимост от материала на съда и характера на потенциалните дефекти. [9], [14]

Необходимо е също така да се въведат добри практики за архивиране и анализ на данни от предходни прегледи – така могат да се идентифицират зони с повишен риск, като се изгради прогноза за износване и остатъчен живот на съоръжението. Това подпомага вземането на информирани решения при експлоатацията, ремонта и подмяната на бойлерите.

В дългосрочен план е важно да се инвестира в обучение на персонала, използване на модерна техника и дигитализация на контролните протоколи. Това ще допринесе за по-висока обективност на инспекциите и минимизиране на човешкия фактор при оценка на резултатите от НДК.

7. Заключение

Настоящото изследване потвърждава същественото значение на недеструктивния контрол като инструмент за осигуряване на надеждна и безопасна експлоатация на съоръжения под налягане. В контекста на бойлерите, които са широко разпространени както в битовата, така и в индустриалната среда, прилагането на систематичен и целенасочен контрол е от решаващо значение за предотвратяване на инциденти и удължаване на експлоатационния им срок. Чрез детайлното разглеждане на основните методи за НДК беше изяснено, че изборът на подходящ метод зависи от редица фактори – материал на изработка, конструкция, достъпност до повърхности, натрупан опит от предишни проверки. Примерите от практиката ясно показват, че дори привидно незначителни дефекти могат да ескалират до сериозни проблеми при липса на навременна интервенция.

Статията подчертава и ролята на техническия надзор като неразделна част от цялостния процес по поддръжка и управление на риска. В този смисъл, инспекцията не трябва да се възприема само като административна процедура, а като активен инструмент за превенция и повишаване на надеждността на оборудването. В бъдеще, развитието на по-прецизни и автоматизирани методи за контрол, включително използване на изкуствен интелект и сензорни системи в реално време, ще трансформира подхода към безопасността на съдовете под налягане.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bray D. E., Stanley R. K., Nondestructive Evaluation: A Tool in Design, Manufacturing and Service, 2020, CRC Press, 2nd ed., ISBN: 9780367431967.

[2] Hellier C., Handbook of Nondestructive Evaluation, 2021, McGraw-Hill Education, 3rd ed., ISBN: 9781260458550.

[3] Krautkrämer J., Krautkrämer H., Ultrasonic Testing of Materials, 2021 (reprint), Springer-Verlag, ISBN: 9783662640059.

[4] Peterson J. P., Pressure Vessel Design Manual: Illustrated Procedures for Solving Major Pressure Vessel Design Problems, 2022, Elsevier, 4th ed., ISBN: 9780128023577.

[5] Stoyanov V., Petrov I., Modern Techniques in Nondestructive Testing of Welded Joints, 2021, Journal of Welding and Materials Testing, Vol. 9, No. 2, pp. 45–52, ISSN: 2738-4563.

[6] Todorov L., Ultrasonic Testing in Practice: Advances and Challenges in Bulgaria, 2023, Bulgarian Journal of Mechanical Engineering, Vol. 61, No. 1, pp. 23–31, ISSN: 0861-9727.

[7] Zhelezov M., Risk-Based Inspection of Pressure Equipment: A Review, 2022, Engineering Review, Vol. 42, No. 4, pp. 115–122, DOI: 10.5937/engrev2204115Z.

[8] БДС EN ISO 9712:2022, Недеструктивно изпитване. Квалификация и сертифициране на персонал, извършващ НДК, Български институт по стандартизация.

[9] Наредба за техническия надзор на съоръжения под налягане, ДАМТН, в сила от 2008 г., актуализирана през 2023 г., ДВ, бр. 21/2023.

[10] 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

[11] Цанков Ц. С. Приложения на нелинейните функции за защита на информацията в комуникационните системи. Университетско издателство „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2018, 204 с., ISBN 978-619-201-212-0.

[12] Ivanov V., Modeling of three-phase inverter power supply system in Simulink, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1032 (2020).

[13] Ivanov V., Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; International Scientific Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems – CIEES 2021, AIP Conf. Proc. 2570, 030010-1–030010-8, ISBN: 978-0-7354-4375-4.

[14] Belovski Iv., Ivanov V., “Solar powered thermoelectric cooling system”, Assen Zlatarov University, Annual, Vol. XLVII, Book 1, стр.101-104, 2018, Burgas 8010, Bulgaria, ISSN 2603-3968.

[15] Linko G. Nikolov, Vasil O. Slavyanov, „Network infrastructure for cybersecurity analysis“, Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies”, Faculty of Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems, ISSN 2367-7902. стр. 191-195.

[16] Linko Nikolov, „Error rate analysis in ricean channel and complex radio environment“, International scientific conference - Defence technology forum – Shumen 2016, Collection of papers, Факултет „А, ПВО и КИС“, ISSN: 2367-7902.

[17] Uzun, M. B., Atanasov, V. T., Common conception of software-defined networks, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Konstantin Preslavsky University Press, vol. XIII E, 2023, pp.112-119, ISSN 2815-4703.

ВИРТУАЛНА И ДОБАВЕНА РЕАЛНОСТ ЗА ОБУЧЕНИЕ В АВТОМАТИЗАЦИЯ И МРЕЖОВИ ТЕХНОЛОГИИ

Даниел Р. Денев, Петър Г. Сотиров

VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY FOR TRAINING IN AUTOMATION AND NETWORK TECHNOLOGIES

Daniel R. Denev, Petar G. Sotirov

ABSTRACT: *This report examines the role and potential of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) in automation and networking education. Both technologies offer new forms of interactive and hands-on learning that allow students to immerse themselves in simulated industrial environments, configure networks, diagnose systems, and visualize processes in real time. These approaches help to deepen understanding of complex concepts and develop practical skills without the need for expensive or risky physical infrastructure. The report highlights the widespread application of VR in production line simulations and programmable logic controller configuration, as well as the use of AR for visual guidance and analysis of network processes. Despite significant advantages, challenges related to hardware requirements, the need for specialized content, and teacher training are also highlighted. In conclusion, VR and AR emerge as powerful tools for the modernization of technical education and are in line with the trends of Industry 4.0.*

KEYWORDS: *Virtual reality, Augmented reality, Training, Automation, Network technologies*

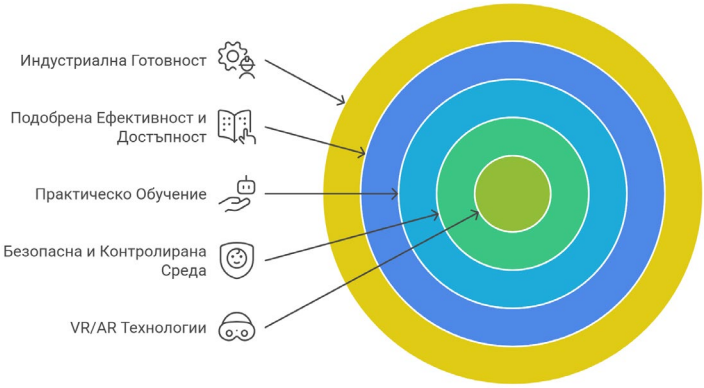
DOI: https://doi.org/10.46687/YT25DDP

1. Въведение

С развитието на дигиталните технологии и навлизането на Индустрия 4.0, традиционните подходи в техническото образование все по-често отстъпват място на интерактивни и симулирани форми на обучение. Виртуалната реалност (VR) и добавената реалност (AR) се утвърждават като иновативни инструменти, които позволяват на обучаемите да взаимодействат с виртуални или разширени версии на реални обекти и процеси. Това прави възможно усвояването на знания и умения в безопасна, контролирана и гъвкава учебна среда.

Особено в областите на автоматизацията и мрежовите технологии, където работата често включва скъпо оборудване, сложни системи и критични процеси, VR и AR предоставят възможности за практическо обучение без необходимост от физическа инфраструктура. Например, чрез VR учениците могат да симулират конфигурация на програмируеми логически контролери (PLC) или работа с

индустриални сензори и роботи, докато AR позволява наслагване на инструкции или схеми върху реални обекти, подпомагайки разбирането и изпълнението на конкретни задачи. На фиг. 1 е показана интеграцията на VR/AR. Тази технологична трансформация не само подобрява ефективността и достъпността на обучението, но и отговаря на съвременните нужди на индустрията, която търси кадри с практически умения и дигитална грамотност. Настоящата статия има за цел да изследва потенциала на виртуалната и добавената реалност в контекста на професионалното образование по автоматизация и мрежови технологии, като се фокусира върху техните приложения, ползи и предизвикателства. [1], [17], [18]



Фиг. 1. *Интеграция на VR/AR в техническото образование*

2. Теоретични основи на реалността

Съвременните образователни технологии навлизат все по-широко в професионалната подготовка, като трансформират начина, по който преподавателите представят материала, а обучаемите усвояват знания. Виртуалната и добавената реалност се нареждат сред водещите иновации, които създават условия за интерактивно, ангажиращо и адаптивно обучение. Те дават възможност за създаване на динамична среда, в която учениците могат да експериментират, анализират и прилагат теоретични знания в симулирани или реални ситуации. В контекста на автоматизацията и мрежовите технологии, прилагането на VR и AR не просто замества класическите методи на обучение, а предлага изцяло нови модели за преподаване и учене. Тези технологии допринасят за визуализиране на абстрактни процеси, които иначе биха били трудно разбираеми или недостъпни за директно наблюдение. В следващите подточки ще бъдат представени основните характеристики и предимства на всяка от двете технологии. [6], [10], [13]

— ***Виртуална реалност (VR)***

Виртуалната реалност е технология, която пресъздава напълно изкуствена среда, в която потребителят се потапя чрез специализирано оборудване като VR очила, контролери и сензори за движение. В обучението тя предлага възможност

за симулиране на реални ситуации, експерименти и операции, без необходимост от физическа лаборатория. Потребителите могат да взаимодействат с виртуални обекти, машини и интерфейси, което създава условия за практическо учене чрез опит. Например, чрез VR учениците могат да упражняват сложни процедури като програмиране на PLC системи или настройка на роботизирани манипулатори, като всеки етап може да бъде повторен неограничен брой пъти. Виртуалната среда може да бъде адаптирана спрямо индивидуалните нужди на обучаемите, което улеснява персонализираното учене. Освен това, рискът от повреди или инциденти е напълно елиминиран, което прави VR особено подходяща за симулиране на опасни или критични процеси. [9], [12], [19]

— ***Добавена реалност (AR)***

Добавената реалност представлява технология, при която към реалния свят се добавят цифрови елементи – изображения, текст, видео или 3D обекти – чрез устройства като смартфони, таблети или AR очила. За разлика от VR, която изолира потребителя в напълно изкуствена среда, AR комбинира реални и виртуални компоненти, като поддържа взаимодействие с физически обекти в реално време. Това позволява на обучаемите да получават насоки и визуални подсказки, докато работят директно с реална техника или инструменти. Приложението на AR в образованието позволява бързо разбиране на процеси като свързване на мрежово оборудване, разчитане на електрически схеми или настройка на сензори и контролери. Чрез наслагване на визуална информация върху реални устройства, учениците могат да получават моментална обратна връзка, инструкции и анализ на грешки. Освен това AR може да се използва и за колаборативно обучение, при което няколко участници взаимодействат в обща разширена среда. На фиг. 2 са показани имерсивни технологии.



Фиг. 2. *Трансформиране на техническото образование с помощта на имерсивни технологии*

3. Приложение в автоматизацията

Автоматизацията е една от най-динамично развиващите се области в индустрията, изискваща високо ниво на технически знания и практически умения. Обучението в тази сфера традиционно се базира на работа с физическо

оборудване като програмируеми логически контролери (PLC), сензори, задвижвания и индустриални роботи. Това обучение обаче често е ограничено от наличните ресурси, време и безопасност. Именно тук виртуалната и добавената реалност предлагат иновативни решения, които надхвърлят ограниченията на класическите лабораторни упражнения. VR и AR трансформират начина, по който учениците взаимодействат с автоматизирани системи, като предоставят възможност за симулация, диагностика и практическо обучение без нужда от реална физическа среда. Чрез тези технологии учениците могат да преминават през пълни процеси на проектиране, конфигуриране, мониторинг и отстраняване на грешки, като по този начин изграждат критични умения в безопасна и контролирана обстановка. Таблица 1 показва влиянието на VR/AR върху обучението. [8], [15], [16]

Таблица 1. *Влияние на VR/AR върху обучението по автоматизацията*

Показател / Параметър	Традиционно обучение	Обучение с VR/AR технологии
Брой симулирани производствени процеси в рамките на модул	2–3	8–10
Средна продължителност за настройка на HMI + PLC логика	~90мин	~50мин
Възможност за обучение при аварийни сценарии	Ниска	Висока
Процент успешно решени задачи по диагностика	65%	87%
Ниво на ангажираност в симулации (самостоятелна работа)	58%	91%
Разход за лабораторно оборудване на студент годишно	~1800лв	~350лв (лицензи + хардуер)
Възможност за отдалечена сесия с преподавател	Ограничена	Пълна, чрез AR платформи
Степен на разбиране на причинно-следствените връзки	Средна	Висока

— ***Симулация на индустриални процеси***

С помощта на виртуална реалност могат да се изграждат цялостни симулирани производствени линии, в които учениците управляват и настройват различни компоненти – PLC, HMI (човеко-машинен интерфейс), сензори, мотори, ленти и роботи. Такива симулации позволяват обучение по реалистични сценарии, които често биха били невъзможни за възпроизвеждане в университетска лаборатория поради висока цена или сложност на оборудването. Например, студент може да бъде поставен в среда, в която трябва да програмира логиката на производствен процес – подаване на сигнал от сензор, задействане на конвейерна система, изчакване на вход от оператор и контрол на крайни изходи. Виртуалната среда реагира в реално време на действията на потребителя, като по този начин се формира логическо и причинно-следствено мислене, което е критично за бъдещи инженери. [5], [11], [14]

— ***Отдалечено управление и диагностика***

Добавената реалност предоставя нов начин за извършване на диагностика и поддръжка на автоматизирани системи. Чрез мобилно устройство или AR очила, потребителят може да насочи камерата към реален компонент, върху който се появяват наслагвани данни – текущи стойности от сензори, схеми за свързване, инструкции за демонтаж или конфигурация. Това позволява „обучение чрез действие“, като обучаемият получава насоки в реално време в самия контекст на задачата. Допълнително, AR може да се използва за отдалечена експертна поддръжка – преподавател или инженер може да се включи в сесията и да води обучаемия стъпка по стъпка, докато той извършва диагностика на система в реална среда. Това е особено полезно при симулиране на аварийни ситуации или обучения в условия, където достъпът до оборудване е ограничен.

4. Приложение в мрежови технологии

Мрежовите технологии са основен стълб в съвременната комуникационна и информационна инфраструктура. Обучението в тази област включва изграждане, конфигуриране и управление на компютърни мрежи, както и анализ на тяхната ефективност и сигурност. Традиционно, това обучение разчита на софтуерни симулатори или ограничен брой физически мрежови устройства. В този контекст, VR и AR предоставят нови хоризонти, като предлагат практически ориентирано обучение в напълно симулирана или допълнена среда. С използването на виртуална и добавена реалност, учениците могат да взаимодействат с мрежови елементи в реалистична 3D среда, да визуализират комуникационни процеси и протоколи, както и да усвояват конфигурации на устройства чрез насочвани инструкции. Това значително подобрява разбирането на абстрактни понятия като маршрутизиране, VLAN, IP адресиране, NAT и други мрежови концепции.

— ***Виртуални лаборатории***

Виртуалните лаборатории, изградени чрез VR, създават напълно интерактивна симулационна среда, в която учениците могат да изграждат и конфигурират мрежи, използвайки виртуални рутери, суичове, сървъри и клиенти. За разлика от традиционните симулатори като Cisco Packet Tracer или GNS3, виртуалната реалност позволява пространствено разположение на устройствата, физическо "свързване" с кабели и директно взаимодействие с интерфейсите на устройствата чрез виртуален терминал. Тези лаборатории могат да симулират реални сценарии – например създаване на локална мрежа за предприятие, прилагане на политики за сигурност, откриване на мрежови проблеми или симулация на атаки. Възможността да се „разходиш“ в мрежова зала, да видиш устройствата и връзките между тях в триизмерно пространство, прави обучението далеч по-интуитивно и ефективно.

— ***Визуализация на мрежови процеси***

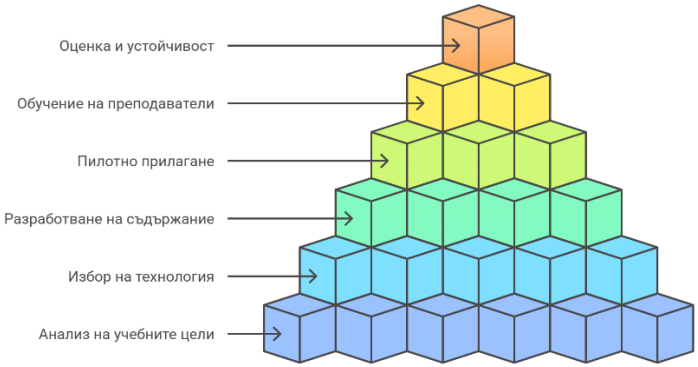
AR дава възможност за реално времена визуализация на протичащи мрежови процеси в реална среда. Например, насочвайки таблет към реален мрежов шкаф, потребителят може да види върху екрана допълнителна информация за всяко устройство – IP адрес, натоварване, статус на портовете,

VLAN принадлежност и други важни параметри. Така обучаемите могат да наблюдават как реално се пренасочват пакети, как функционират протоколите и как се обработват заявки между различни мрежови слоеве.

Освен това AR може да се използва като обучителен инструмент при практически задачи – например при конфигуриране на рутер, системата може да насочи вниманието на студента към правилния порт или команда, както и да визуализира правилното изпълнение на конфигурационни стъпки. Тази форма на обучение е особено полезна за начинаещи, които се ориентират трудно в сложната терминология и последователност на действия.

5. Методология за внедряване на VR/AR в образователната среда

С нарастващия интерес към VR и AR в образованието, възниква въпросът не само дали да бъдат използвани, а как да бъдат внедрени ефективно и устойчиво в учебния процес. Внедряването на такива технологии не е еднократен акт на закупуване на оборудване, а системен и стратегически процес, който изисква планиране, обучение, технологична инфраструктура и интеграция със съществуващите учебни програми. Тази точка предлага методологичен подход, който може да бъде приложен от професионални гимназии, университети и центрове за продължаващо обучение. Фиг. 3 показва методология за внедряване. [2], [3], [4]



Фиг. 3. *Методология за внедряване на VR/AR*

Стъпки на внедряване:

Анализ на учебните цели и съдържание: Преди внедряване е необходимо да се анализират учебните теми, които могат да бъдат подходящи за VR/AR, като се търсят теми с висока сложност, визуална абстрактност или рискови ситуации.

Избор на технология:

Изборът на платформа зависи от целите – за VR могат да се използват Oculus Rift/Quest, HTC Vive, Pico и други, а за AR – устройства с iOS/Android и

очила като HoloLens или Magic Leap. Софтуерните платформи включват Unity, Unreal Engine, Vuforia, Labster и др.

Разработване на съдържание:

Създаване или лицензиране на учебни модули във VR/AR формат. Препоръчително е включването на преподаватели и ИТ специалисти заедно с дизайнери на обучение.

Пилотно прилагане:

Тестване на VR/AR уроци с малка група ученици, събиране на обратна връзка и извършване на подобрения преди мащабиране.

Обучение на преподаватели:

Един от ключовите елементи е подготовката на преподавателите да използват, интегрират и поддържат VR/AR ресурси. Това изисква техническа и педагогическа квалификация.

Оценка и устойчивост:

Изграждане на механизми за оценка на ефективността на обучението чрез VR/AR и създаване на план за дългосрочна поддръжка и развитие.

6. Практическо приложение чрез казус в българско учебно заведение

За да се илюстрира практическото приложение на виртуалната и добавената реалност в реална учебна среда, в тази част е представен пример от българска образователна институция, която е започнала внедряване на иновативни технологии в професионалното образование. Този казус показва конкретни стъпки, резултати и предизвикателства от прилагането на VR/AR в контекста на автоматизацията и мрежовите технологии. [7], [8], [10]

Пример: *Професионална гимназия по Механотехника електроника телекомуникации и транспорт – Шумен*

През 2023 година гимназията стартира проект за внедряване на VR среда за обучение по индустриална автоматизация, с фокус върху конфигурацията на PLC Siemens S7-1200 и визуализация на процеси чрез HMI панели. Използвана е платформата Unity 3D, като са разработени няколко интерактивни сценария, в които учениците „влизат“ в индустриално хале и извършват симулации на реални операции – настройка на таймери, логически операции, отстраняване на грешки в сигналната схема. Таблица 2 и фиг. 4 показват данни и резултати.

Резултати:

- Повишена мотивация и интерес към учебния предмет
- По-бързо усвояване на сложни понятия (вход/изход, логика, сканиране)
- Повишена успеваемост на тестове след симулационните уроци с 18% спрямо контролната група

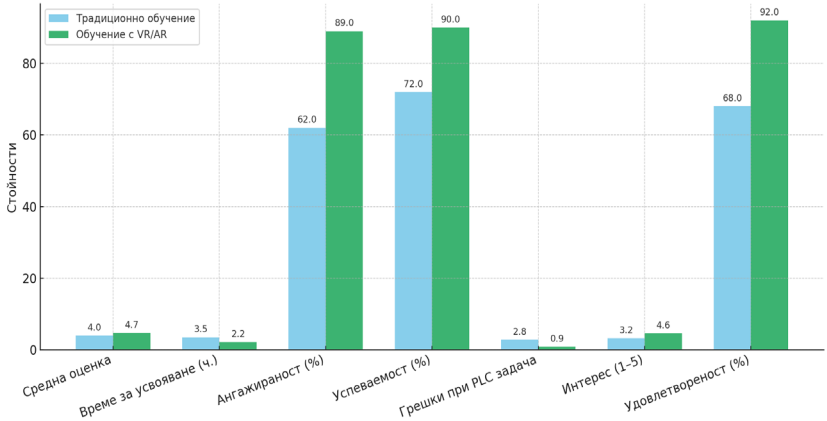
Обяснение на показателите:

- **Средна оценка** – резултат от практически изпит след преминаване на темата „Основи на PLC програмиране“.

- **Време за усвояване** – средно време, необходимо за изпълнение на основна практическа задача от учениците.
- **Ангажираност** – измерено чрез проследяване на активното участие в симулациите или присъствие/внимание при класическо обучение.
- **Успеваемост** – процент правилно отговорени въпроси в тест след обучението.
- **Брой грешки** – среден брой грешки при изпълнение на задачи по програмиране на PLC.
- **Интерес и удовлетвореност** – резултати от анонимна анкета сред учениците (по 5-бална и процентна скала).

Таблица 2. *Сравнение между традиционно обучение и обучение с VR/AR*

Показател / Параметър	Традиционно обучение	Обучение с VR/AR технологии
Средна оценка от практически изпит	3, 96	4, 74
Време за усвояване на даден практически модул	~3.5 учебни часа	~2.2 учебни часа
Процент на ангажираност в учебния процес (с участие и взаимодействие)	62%	89%
Успеваемост на тест след завършен модул	72%	90%
Грешки при изпълнение на стандартна PLC задача	2, 8 средно на ученик	0, 9 средно на ученик
Интерес към темата (по скала 1–5 от анкета)	3, 2	4, 6
Удовлетвореност от учебния процес (анкета)	68%	92%

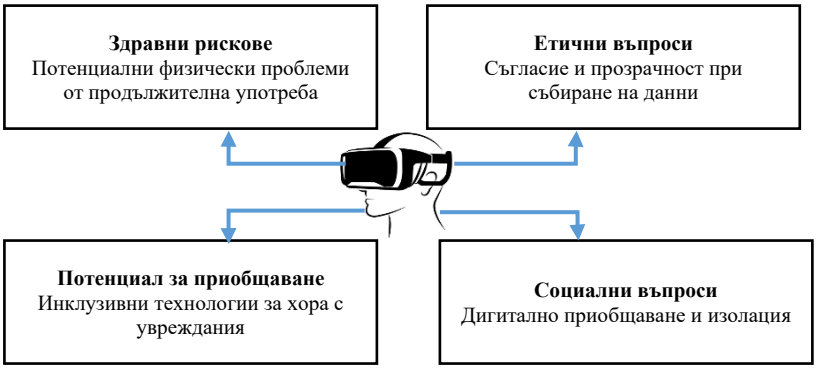


Фиг. 4. *Сравнение между традиционно обучение и обучение с VR*

В паралелна инициатива, по проект с технически университет, е въведена AR мобилна апликация, чрез която учениците визуализират потока на данни между мрежови устройства при реално обучение по компютърни мрежи – наслагване на IP маршрути, MAC таблици и VLAN конфигурации върху реални рутери и суичове.

7. Етични социални и здравни аспекти на VR/AR обучението

Въпреки значителните ползи от използването на VR и AR в образованието, е важно да се обърне внимание и на потенциалните етични, социални и здравни предизвикателства, свързани с тези технологии. Както всяка дигитална иновация, те носят със себе си въпроси, които трябва да бъдат проучени и регулирани, особено когато става въпрос за работа с непълнолетни, за продължително използване или за създаване на съдържание, което въздейства дълбоко върху възприятията и психиката. Фиг. 5 показва етични и социални аспекти. [3]



Фиг. 5. *Етични и социални аспекти на VR/AR обучението*

— ***Здравни рискове:***

— Продължителната употреба на VR очила може да доведе до зрение напрежение, замайване, гадене или т.нар. „VR sickness“.

— При AR употреба съществува риск от дисбаланс между реална и дигитална информация, особено при взаимодействие с машини в реално време.

— За намаляване на риска се препоръчва използването на сесии с ограничена продължителност (15–30 минути) и почивки между упражненията.

— ***Етични и социални въпроси:***

— Използването на VR/AR трябва да бъде придружено със съгласие и прозрачност, особено когато се събират лични данни или поведенчески метрики.

— Необходимо е да се следи за дигитално приобщаване – не всички ученици имат равен достъп до устройства или подходяща среда за употреба.

— ***Потенциал за приобщаване:***

VR и AR имат потенциала да бъдат инклузивни технологии, особено за хора с увреждания – например симулации с гласови инструкции, визуални указания или възможност за учене от разстояние без бариери.

8. Интеграция на VR/AR с други технологии

Съвременното технологично образование не може да бъде разглеждано изолирано – VR и AR все по-често се комбинират с други водещи технологии като изкуствен интелект (ИИ), Интернет на нещата (IoT) и облачни решения. Тази интеграция позволява създаването на интелигентни, персонализирани и мащабируеми образователни среди, които отразяват реалните процеси в съвременната индустрия. [4], [15], [17]

— ***VR/AR + ИИ (изкуствен интелект):***

Чрез ИИ обучителните среди могат да се адаптират към индивидуалния напредък на студента – например системата анализира действията в реално време и предлага автоматични съвети или допълнителни упражнения. Възможна е разработка на виртуални асистенти (chatbots), които вградени в AR/VR средата да насочват обучаемия по време на симулации.

— ***VR/AR + IoT:***

Чрез свързване с реални IoT устройства (сензори, контролери), учениците могат в реално време да наблюдават как цифровите двойници във VR/AR отразяват реалните стойности от физическата среда. Това създава автентични обучения, в които симулацията се „захранва“ с реални данни.

— ***VR/AR + Облачно обучение:***

Облачните платформи позволяват достъп до VR/AR съдържание без нужда от локално инсталиран софтуер. Това улеснява дистанционното обучение и позволява колаборация между учениците и преподаватели от различни локации в споделена виртуална среда.

Перспектива:

Интегрирането на VR/AR с ИИ, IoT и облачни технологии оформя бъдещето на „умното“ образование – динамично, персонализирано и тясно свързано с реалната индустриална практика. Такива хибридни платформи вече се използват пилотно в страни като Германия, Япония и Южна Корея, а България има възможност да се възползва от тези тенденции чрез модернизиране на професионалното образование и техническите университети.

9. Заключение

Виртуалната и добавената реалност се утвърждават като съвременни образователни технологии с висока стойност, особено в сфери като автоматизация и мрежови технологии, където е необходимо балансиране между теория и практика. Тяхната способност да предоставят интуитивна, визуална и

практически ориентирана среда позволява на обучаемите не само да усвояват знания по-ефективно, но и да развиват аналитично мислене, умения за решаване на проблеми и работа в реални условия, без риск или разходи за физическо оборудване.

Анализът на приложението на VR и AR показва, че те значително подобряват мотивацията и ангажираността на учениците, особено в техническите дисциплини, където класическите методи често се оказват абстрактни или твърде теоретични. Чрез симулации и интерактивни упражнения, обучаемите придобиват увереност и умения, които са директно приложими в реалната индустрия. Това е особено важно в контекста на Индустрия 4.0, където автоматизацията, IoT, киберсигурността и дигиталната свързаност изискват нов тип инженери – дигитално подготвени, адаптивни и практически ориентирани.

Въпреки технологичния потенциал, широкото приложение на VR и AR в образованието все още е свързано с предизвикателства – високи разходи за разработка и поддръжка, нужда от подходяща инфраструктура и обучение на преподавателите за работа с новите платформи. Въпреки това, очакванията са, че с намаляване на цената на хардуера и разпространението на 5G и облачни услуги, тези технологии ще станат достъпни за все повече образователни институции. [2]

В бъдеще се очаква интегрирането на VR/AR с други технологии като изкуствен интелект, адаптивно обучение и IoT да доведе до още по-иновативни образователни решения. Това ще позволи създаването на напълно персонализирани, интерактивни и гъвкави учебни пътеки, които да отговарят на нуждите на съвременните ученици и изискванията на индустрията.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Azuma R., A Survey of Augmented Reality, 1997, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 6, no. 4, pp. 355–385.

[2] Cisco Networking Academy, Networking Essentials, 2023, Cisco Press, ISBN: 9780137550218.

[3] Dimitrov S., Ganchev I., “AR and VR in Technical Education – Trends and Perspectives”, 2020, Annual of the University of Ruse, vol. 59, book 11.1, pp. 34–39, ISSN 1311-3321.

[4] Gavrilov G., Kovatchev D., "Application of AR for Maintenance and Training in Industry 4.0", 2021, International Conference on High Technology for Sustainable Development, IEEE, DOI: 10.1109/HiTech51434.2021.9714821.

[5] Milgram P., Kishino F., A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, 1994, IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E77-D, no. 12, pp. 1321–1329.

[6] Parashkevanova G., Denev D., Ismail T., Internet Threats. Phishing and Financial Mule, 2016, International Scientific Conference, Journal of Technology, National Military University „Vasil Levski”, Veliko Tarnovo, ISSN 2367-7481, pp. 221–226.

[7] Siemens Automation, VR/AR Applications in Industry 4.0, 2022, Technical Whitepaper, available at: www.siemens.com/vr-ar-industry.

[8] Stoyanov D., Georgiev T., “Development of a Virtual Laboratory for Training in Industrial Automation”, 2021, International Conference on Information Technologies, Sofia, ISBN 978-954-111-176-1, pp. 113–118.

[9] Trendafilov V., “AR Technologies for Remote Support and Training in Industrial Environments”, 2022, Scientific Proceedings of TU-Sofia, vol. 72, issue 1, pp. 52–58.

[10] Zlatanov V., Marinov M., “Integrating Virtual Reality in Engineering Curricula: Case Study from Bulgaria”, 2020, TEM Journal, vol. 9, no. 3, pp. 1026–1031, ISSN: 2217-8309.

[11] Стоянова, В., Облачни технологии в образованието, Сборник научни трудове, факултет „А, ПВО и КИС” на НВУ „В. Левски”, Шумен, 2011, с. 76-82, ISSN 1313-7433.

[12] Atanasov, V., Ivanova, A. A framework for evaluation of web-based learning content. International Journal on Information Technologies and Security, No. 4 (vol. 14), 2022, pp. 13-24, ISSN 1313-8251.

[13] Атанасов, В., Един подход за подпомагане разработването на web приложения чрез когнитивна машина, Годишник на Шуменския университет \"Епископ Константин Преславски\", Издателство \"Епископ Константин Преславски\", Том XIV Е, 2024, ISSN: 1314-8818.

[14] Ivanov V., “Analysis of Computer Simulation in Software Environment of One-Phase Bridge Voltage Inverter for a Photovoltaic System”, Annual of Assen Zlatarov University, Burgas Bulgaria, Vol. XLVI, Book 1, 2017, стр. 96 – 99, ISSN 1312-1359.

[15] Ivanov V., “Modeling of single phase inverter system in simulink software”, Assen Zlatarov University, Annual, Vol. XLIX, Book 1, 2020, Burgas 8010, Bulgaria, ISSN 2603-3968.

[16] Цанков Ц. С. Съвременни методи за управление на ресурси в компютърни индустриални мрежи. Университетско издателство „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2022, 150 с., ISBN 978-619-201-618-0.

[17] Stefanova, A., Automated system for geodetic control in building of bridge superstructure constructions using the cantilever concrete or assembly method, Proceedings of International Conference Synergy of Architecture and Civil Engineering, Niš, 11-12 September 2025, Vol. 1, pp. 53-63, ISBN: 978-86-82810-15-5.

[18] Stoyanova, Veselka. Research of the characteristics of a steganography algorithm in images when using different alphabet. In: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference. Volume IV. 2024. p. 259.

[19] 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.

ДВУМЕРНА СИГНАЛНА ОБРАБОТКА И ФИЛТРИРАНЕ В ЦИФРОВИТЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Николета Н. Иванова, Михаела М. Михайлова

TWO-DIMENSIONAL SIGNAL PROCESSING AND FILTERING IN DIGITAL IMAGES

Nikoleta N. Ivanova, Mihaela M. Mihaylova

ABSTRACT: *This paper reviews the basic principles and methods of two-dimensional signal processing and filtering in digital images. Images are considered as two-dimensional discrete signals represented by matrices of pixel values, which allows the application of mathematical operations for analysis and enhancement. The key processes of discretization and quantization, by which physical (analog) images are converted to digital format, are discussed, as well as the role of the histogram in assessing the brightness distribution and contrast. The paper presents the main categories of image processing methods, including point operations, spatial filters, frequency filtering, and edge detection techniques. Averaging and Laplace filters, transforms such as 2D DFT, edge operators such as Sobel and Canny, and noise removal methods, including median and adaptive filters, are considered.*

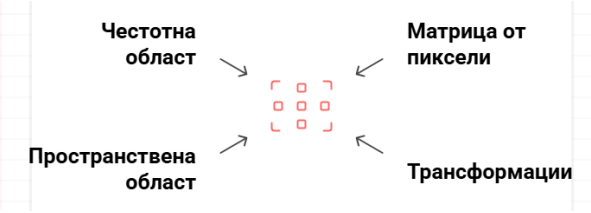
KEYWORDS: *Signals, Pixels, Image, Filters*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NIM

1. Въведение

Двумерната обработка на сигнали е фундаментална част от цифровата обработка на изображения, тъй като всяко изображение може да бъде представено като матрица от числови стойности, описващи яркостта на отделните пиксели. Това математическо представяне дава възможност за прилагане на различни трансформации, които подобряват качеството, извличат структура или премахват шум. Така изображението се разглежда като двумерна дискретна функция $f(x, y)$, която може да се обработва чрез операции в пространствената или честотната област. За пример може да се даде дигитална матрица с размерност 5×5 пиксела. Тази матрица показва как числените стойности представляват интензитети от 0 до 255, съответно от черно до бяло, което е основата за всички последващи операции. На фиг. 1 е показан процеса на обработка на изображения. А формула 1 показва матрицата 5×5 пиксела. [4], [5]

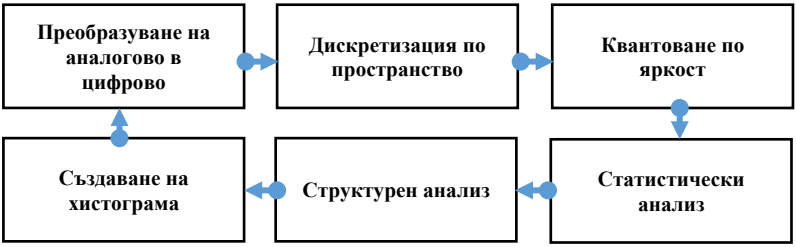
$$f(x,y) = \begin{bmatrix} 12 & 20 & 18 & 22 & 15 \\ 14 & 25 & 30 & 28 & 18 \\ 10 & 20 & 35 & 25 & 15 \\ 12 & 18 & 28 & 20 & 14 \\ 10 & 15 & 20 & 12 & 10 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Фиг. 1. *Процес на обработка на изображения*

2. Основи на сигналите

Обработката на цифрови изображения и аудио сигнали започват от фундаменталната идея, че всяко изображение и звук представляват двумерна функция, чиято стойност във всяка точка може да бъде разглеждана като сигнал. За да се анализира и трансформира този сигнал, е необходимо да се разберат основните процеси, чрез които аналоговите изображения се преобразуват в цифрова форма. Тези процеси включват дискретизация по пространството и квантоване по яркост, които определят качеството и точността на цифровото представяне. След преминаването от непрекъснат към цифров сигнал става възможно статистическото и структурно изследване на изображението. Показателен инструмент за това е хистограмата, която описва разпределението на пикселните стойности и предоставя важна информация за контраста и динамичния диапазон. На фиг. 2 е показан цикъла на обработка на цифрови изображения. [6], [9]



Фиг. 2. *Цикъл на обработка на цифрови изображения*

Разбирането на тези основни принципи е предпоставка за всички методи на цифрова обработка, които следват. След това могат да бъдат въведени конкретните математически операции и формули, като например квантоване чрез $f_q(x,y) = round\ (f(x,y) \times 255)$ или описанията на хистограмните разпределения.

— ***Дискретизация и квантоване***

Реалният свят предоставя изображения с непрекъснати стойности на яркостта, които математически могат да бъдат описани в диапазона $[0, 1]$. За да се превърнат тези стойности в цифров сигнал, те се дискретизират по пространството и се квантуват по яркост. Това означава, че непрекъснатата

функция се измерва в определени точки, а стойностите ѝ се закръглят до определено ниво на прецизност. Например непрекъснатите интензитети:

$$f(x,y) = 0.0, 0.1, 0.5, 0.8, 1.0 \quad (2)$$

след квантоване в 256 нива се превръщат в:

$$f_q(x,y) = round\ (f(x,y) \times 255) = 0, 26, 128, 204, 255 \quad (3)$$

— ***Хистограма на изображението***

Хистограмата е инструмент, който описва разпределението на яркостите в изображението, като показва колко пиксела имат определена стойност. Тя предоставя информация за контраста, осветеността и динамичния диапазон на изображението. Например пикселните стойности 12, 15, 18, 20 и 22 могат да имат по един пиксел всяка, което образува проста хистограма със сравнително равномерно разпределение (табл.1).

Таблица 1. *Таблица на разпределение*

Стойност	12	15	18	20	22
Брой	1	1	1	1	1

При по-големи изображения хистограмата става ключов инструмент за операции като нормализация и изравняване на хистограмата, които подобряват контраста.

3. Обработка на изображения

След като изображението е дискретизирано и квантувано, то може да бъде подложено на разнообразни методи за обработка, които целят подобряване на визуалното качество, извличане на информация или подготовка за последващ анализ. Обработката на изображения включва методи, които работят директно върху пикселите, както и техники, които анализират по-сложни зависимости чрез околни стойности или трансформации в честотната област. Всеки от тези подходи засяга изображението по различен начин – от глобални точкови корекции до локални филтри или спектрални операции. Тази част на доклада разглежда основните категории методи, чрез които се трансформира двумерният сигнал. Точковите операции като промяна на яркост, негатив и гамма-корекция се прилагат върху всеки пиксел независимо, докато пространствените филтри използват информация от съседните пиксели, за да изглаждат шум или да подчертават ръбове. Филтрирането в честотната област дава възможност за контрол върху ниско- и високочестотните компоненти чрез 2D DFT, а методите за откриване на ръбове и премахване на шум представляват ключови стъпки за анализ на структури в изображението. Във всяка подточка след това ще бъдат представени съответните формули и примери, като например конволюционни ядра, преобразования и медианни операции. [1], [10]

— ***Точкови операции***

Точковите операции модифицират всеки пиксел независимо от съседните му стойности, което ги прави бърз и ефективен метод за глобални корекции.

Такива операции включват промяна на яркост, контраст, негатив и гама-корекция. Например увеличаването на яркостта с постоянна стойност може да се визуализира чрез:

$$\begin{bmatrix}12 & 20\\14 & 25\end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix}22 & 30\\24 & 35\end{bmatrix} \tag{4}$$

Това е линейно трансформиране, при което всеки пиксел се увеличава с +10. Гама-корекцията, от друга страна, е нелинейна трансформация, използвана за адаптиране на изображението към човешката зрителна система. Тя се описва с формулата:

$$g = 255 \times (f/255)^{\gamma} \tag{5}$$

при $f = 64$ и $\gamma = 0.5$ се получава приблизително $g = 127$, което изсветлява тъмните области.

— ***Пространствени филтри***

Пространствените филтри използват информация от околността на пиксела, за да подобрят или подчертаят определени структури в изображението. Един от най-често използваните е усредняващият (сглаждащ) филтър, който намалява шума, като замества централния пиксел със средната стойност на своето 3×3 обкръжение. Например:

$$g(2,2) = \frac{10+20+30+20+30+40+30+40+50}{9} = 30 \tag{6}$$

Този тип филтър обаче замъглява ръбовете и детайлите. За подчертаване на ръбове и изостряне се използва Лапласов филтър. Неговата матрица:

$$h = \begin{bmatrix}0 & -1 & 0\\-1 & 4 & -1\\0 & -1 & 0\end{bmatrix} \tag{7}$$

реагира силно на резки промени в яркостта, което позволява да се открояят контури и детайли, но може да засили шума. [2], [7]

— ***Филтриране в честотната област***

Филтрирането в честотната област се базира на двуизмерната дискретна Фурие трансформация (2D DFT), която преобразува изображението от пространствена в честотна област. По този начин може да се анализира неговото честотно съдържание и да се манипулират определени компоненти. Например изображението:

$$f = \begin{bmatrix}10 & 20 & 10 & 0\\20 & 30 & 20 & 10\\10 & 20 & 10 & 0\\0 & 10 & 0 & 0\end{bmatrix} \tag{8}$$

може да бъде трансформирано чрез 2D DFT, за да стане ясно кои честоти доминират. Прилагането на нискочестотен филтър (LPF) премахва високочестотните компоненти, което води до изглаждане на изображението. Този

подход е много ефективен при намаляване на шум с висока честота, но може да доведе до загуба на детайли.

— ***Откриване на ръбове***

Ръбовете са ключови структури в изображението, тъй като съдържат важна информация за формите и обектите. Един от най-популярните оператори за откриване на ръбове е операторът на Собел. Например неговият X-градиент:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

подчертава вертикални ръбове чрез конволюция с примерна матрица като:

$$\begin{bmatrix} 10 & 10 & 10 \\ 10 & 0 & 10 \\ 10 & 10 & 10 \end{bmatrix} \tag{10}$$

Алгоритъмът на Canny е по-сложен и включва четири основни етапа: изглаждане с Гаусов филтър, изчисляване на градиент, потискане на неналичните максимуми и двойно прагово сегментиране. Този алгоритъм осигурява прецизно и чисто откриване на ръбове с минимален шум.

— ***Премахване на шум***

Премахването на шум е важен процес, тъй като реалните изображения често съдържат нежелани вариации. Медианният филтър е сред най-устойчивите методи при „сол и пипер“ шум. Например за матрицата:

$$\begin{bmatrix} 10 & 200 & 10 \\ 15 & 20 & 25 \\ 10 & 30 & 10 \end{bmatrix} \tag{11}$$

Средната стойност би била изкривена от стойността 200, докато медианата дава по-надежден резултат:

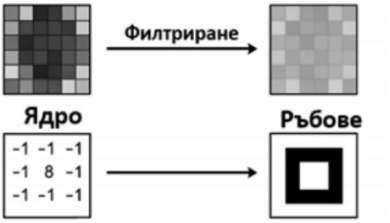
$$median - 15 \tag{12}$$

Адаптивните филтри допълват този подход, като променят характеристиките си според локалните свойства на изображението. Това позволява едновременно премахване на шум и запазване на важни структури, което ги прави особено подходящи при медицински изображения и сцени с високи нива на шум. На фиг. 3 е показана 2D обработка на сигнали чрез филтриране в цифрови изображения.

4. Анализ на контраста и динамичния диапазон

Контрастът е един от най-важните параметри при оценка на качеството на изображението, тъй като влияе върху видимостта на детайлите и разделимостта между различни области. Високият контраст осигурява добра разлика между тъмни и светли елементи, докато ниският контраст може да затрудни разпознаването на структури и ръбове. Динамичният диапазон описва спектъра между минималната и максималната яркост в изображението и често се използва

за оценка дали изображението съдържа достатъчно визуална информация за последваща обработка или визуализация. За да се извърши количествен анализ на контраста, често се сравняват групи пиксели или статистически показатели, като средна стойност, минимална и максимална яркост. Таблица 2 представя примерни стойности на яркост от различни региони на изображението, които могат да бъдат визуализирани чрез графика. Таблицата може да бъде използвана както за създаване на линейна диаграма, така и за сравнение на динамичния диапазон между различните области. Освен статистическите показатели, визуалното представяне на яркостните стойности чрез диаграми дава важна интуиция за разпределението на тоновете в изображението.



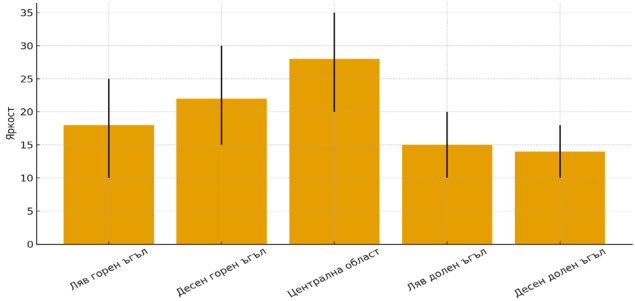
Фиг. 3. *2D обработка на сигнали чрез филтриране*

Графичното сравнение на средните стойности, минимумите и максимумите в различните региони позволява бързо да се идентифицират области с нисък контраст или загуба на детайл. Например централната област, която според таблицата има най-висока средна яркост (28) и широк диапазон (20–35), може да се счита за добре осветена, докато десният долен ъгъл с диапазон 10–18 показва ограничени различия между пикселните стойности. Така диаграмата, създадена от тези данни, може да служи както за визуална оценка, така и за база за автоматични алгоритми за корекция на контраста. Допълнителен аспект от анализа на контраста е оценката на локалните вариации в изображението. Докато глобалният контраст описва разликата между най-тъмната и най-светлата точка, локалният контраст се фокусира върху малки региони и е особено важен при медицински, сателитни или технически изображения, където детайлите могат да бъдат скрити в тесен диапазон от яркости. Чрез сравнение на стойностите в близки области, като тези посочени в таблицата, могат да се идентифицират региони със загуба на текстура или с необходимост от локална корекция. Така локалният анализ допълва глобалния и осигурява по-прецизно разбиране на визуалните характеристики на изображението. Допълнително, количественото измерване на контраста позволява прилагането на автоматични алгоритми за подобрение като адаптивно изравняване на хистограма (CLAHE) или нелинейни контрастни разтягания. Тези техники използват локални статистики, подобни на представените в таблицата, за да усилят детайлите без да въвеждат шум или пресилени артефакти. Например регионите с по-нисък динамичен диапазон, като десния долен ъгъл (10–18), могат да бъдат автоматично усилени до по-широк диапазон, което увеличава видимостта на финитe структури. Така анализа на контраста не служи само за диагностика, а се превръща в основа за интелигентна,

контекстно зависима обработка на изображения. Таблица 2 показва яркостта на пикселите в различни региони на изображението, а фиг. 4 графика с резултати. [3]

Таблица 2. *Яркост на пиксели в различни региони на изображението*

Регион на изображението	Средна яркост	Минимум	Максимум
Ляв горен ъгъл	18	10	25
Десен горен ъгъл	22	15	30
Централна област	28	20	35
Ляв долен ъгъл	15	10	20
Десен долен ъгъл	14	10	18



Фиг. 4. *Средна яркост по региони с диапазони*

5. Заключение

В настоящия доклад бяха представени основните концепции и методи, използвани в двумерната сигнална обработка и цифровото филтриране на изображения. Изображението беше разгледано като дискретна функция, върху която могат да се прилагат както локални, така и глобални операции, включително дискретизация, квантоване, точкови трансформации, пространствени филтри и честотни методи. Примерите с конкретни матрици, филтърни ядра и преобразувания демонстрираха как числените стойности на пикселите се променят в зависимост от използвания алгоритъм и как тези промени влияят върху визуалните характеристики на изображението. Анализът показа, че успешното обработване на изображения изисква както добро разбиране на математическите принципи, така и правилен подбор на техники според задачата – било то изглаждане, изостряне, откриване на ръбове или премахване на шум. Комбинирането на пространствени и честотни подходи дава оптимални резултати, особено при сложни изображения или специфични приложения като медицинска диагностика, роботика и компютърно зрение. Добавената точка за контраст и динамичен диапазон подчерта ролята на статистическия анализ за оценка на качеството на изображението и значението на визуализацията чрез таблици и диаграми. В заключение, методите на двумерната обработка представляват мощен инструментариум, който позволява прецизен анализ и оптимизация на цифрови изображения. [8]

ЛИТЕРАТУРА

[1] Denev D., Analysis of a Steganographic Method for Hiding One Image in Another Image Using MATLAB and Image Processing Toolbox, 2021, Journal scientific and applied research, vol. 21, International Journal, ISSN 1314-6289, pp. 80-86.

[2] Atanasov V., Denev D., Tsankov Ts., A Novel Approach for Non-Destructive Steganography by Predetermination, 2025, International Journal on Information Technologies and Security № 3 (vol. 17), ISSN 1313-8251, pp. 73-82

[3] Terziev H., Denev D., Analysis of the Possibilities for Discovery of Information in the Communication Information Systems Through the use of Visual Steganalysis, 2020, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. X E, Faculty of technical sciences, ISSN 1311-834X, pp. 229-233.

[4] Denev D., Tsankov Ts., A Survey of Data Quality in Digital Processing of Acoustic Signals, 2022, International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), https://ieeexplore.ieee.org/, Veliko Tarnovo Bulgaria, 24-26 November, ISBN 978-1-6654-9149-5 and DOI 10.1109/CIEES55704.2022.9990685

[5] Denev D., Docheva A., Software Processing of Audio Signals in Digital Audio Workstation Studio One Trough Effect Plugins, Conference with international participation MATTEH 2024, Conference Proceedings, vol. 2 Communication and Computer Technologies, ISSN 1314-3921, pp. 23-38.

[6] Keranova M., Petrov I., Denev D., The Theory of Signals and its Application in the Monitoring and Control of Space Debris, 2025, Proceedings of Scientific Conference "Near Space - a Common Goal", National Military University "Vasil Levski", Veliko Tarnovo, ISSN 2815-3510.

[7] Stoyanova V. Research of the characteristics of a steganography algorithm in images when using different alphabet. In: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference. Volume IV. 2024. p. 259.

[8] Tsankov T., Trifonov T., Staneva L. A survey of phase manipulated signals with high structural complexity and small loses after processing with mismatched filters. Journal Scientific & Applied Research, Vol. 4, 2013, ISSN 1314-6289, pp. 88-97.

[9] Tsankov T., Trifonov T., Staneva L. An algorithm for synthesis of phase manipulated signals with high structural complexity. Journal Scientific & Applied Research, Vol. 4, 2013, ISSN 1314-6289, pp. 80-87.

[10] Станева Л. А., Цанков Ц. С. Компютърна лаборатория за синтез на сложни дискретно честотни сигнали. Научна конференция MATTEX 2012, Шумен, 2012, ISSN 1314-3921.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОМПЮТЪРНОТО ЗРЕНИЕ ПРИ РАЗПОЗНАВАНЕ НА ЧОВЕШКИ ЕМОЦИИ И ПОВЕДЕНИЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Гергана С. Николова

APPLICATION OF COMPUTER VISION IN RECOGNITION OF HUMAN EMOTIONS AND BEHAVIOR IN REAL TIME

Gergana S. Nikolova

ABSTRACT: *Computer vision is the ability of machines to "see, " analyze, and interpret visual information in a way that resembles human perception. Developing emotionally intelligent systems that combine computer vision, cognitive psychology, and artificial intelligence has the potential to transform human–machine interaction and enhance quality of life across a range of social and professional settings.*

KEYWORDS: *Computer vision, Artificial intelligence, CNN, Emotionally intelligent systems, Face recognition and Human–machine interaction*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25GSN

Въведение

През последните години изкуственият интелект и компютърното зрение се превърнаха в едни от най-бързо развиващите се области на науката. Благодарение на тях компютърните системи могат да „виждат", анализират и интерпретират визуална информация по начин, близък до човешкия. Един от най-интригуващите и социално значими аспекти на тази технология е възможността за разпознаване на човешки емоции и поведение.

Разпознаването на емоции чрез компютърно зрение има потенциал да промени начина, по който взаимодействаме с машините – от интелигентни асистенти и образователни системи, до медицинска диагностика и наблюдение на обществената сигурност. Настоящият доклад разглежда основните принципи, технологии и предизвикателства, свързани с разпознаването на емоции и поведенчески модели в реално време. Най-общо казано компютърното зрение е интердисциплинарна област, която си служи с алгоритми и модели за обработка на изображения и видео, с цел получаване на смислова информация. Компютърното зрение приложмо в много области на науката, заради своята обективност. Интегрирането на компютърното зрение в когнитивната психологи и анализ би могло да доведе до ръст в диагностицирането на психологични разстройства на личността като депресията. Заради своята обективност, някой

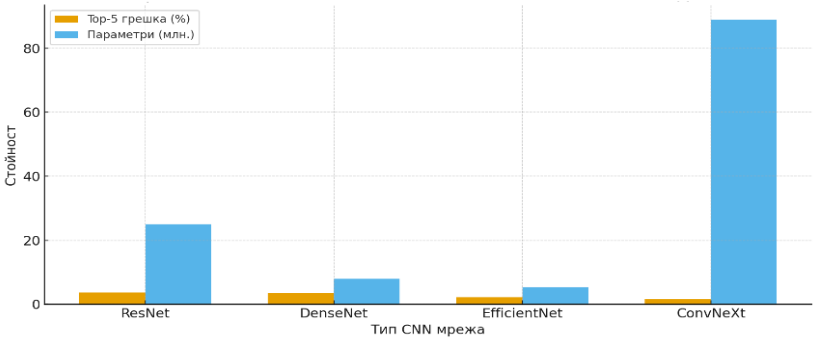
изследователи, дори разглеждат компютърното зрение като подобект на изкуствения интелект. [5]

Основни техники на компютърното зрение

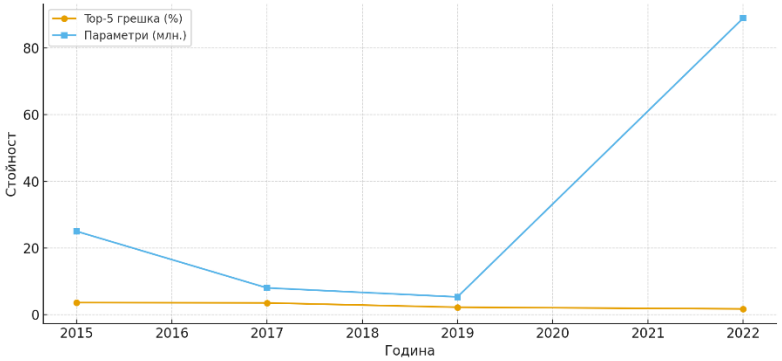
Техниките, базирани на компютърно зрение, използват алгоритми за машинно обучение, за да анализират визуални сигнали и да определят емоционални състояния. Тези визуални сигнали могат да включват лицеви изражения, микро мимики, жестове език на тялото и реч. В контекста на разпознаването на емоции методите на компютърното зрение позволяват по-обективно, ефективно и надеждно определяне и разчитане на емоционални състояния в сравнение с традиционните подходи. Може би един най-разпространените и използвани методи за разпознаване на човешките емоции е анализирането на лицеви изражения. Това е така, тъй като лицето е основен източник на емоционална информация, а алгоритмите могат с висока точност да откриват и класифицират различни изражения. Този анализ включва засичане и проследяване на лицевите черти – очи, нос, уста, вежди – с цел определяне на емоционалното изражение. Методите се основават на визуални характеристики като форма и движение на лицевите мускули, които са свързани с различни емоционални състояния. Широкият спектър на архитектурата на CNN мрежите се прилагамогат за да идентифицират и класифицират обекти, хора и сцени с минимална обработка. Мрежите се различават по структура спрямо техните приложения, като често се консурират помежду си. Таблица 1 посочва общ преглед на различните типове CNN мрежи, а фиг. 1 и фиг. 2 резултати.

Таблица 1. *Топ 5 CNN архитектури за периода 2015-2025г. [3]*

Тип CNN мрежа	Година	Брой слоеве	Top-5 грешка (%)	Брой параметри
ResNet	2015	152	3, 6	25 млн.
DenseNet	2017	201	3, 5	8 млн.
EfficientNet	2019	до 480	2, 2	5.3 млн.
ConvNeXt	2022	350	1, 7	89 млн.

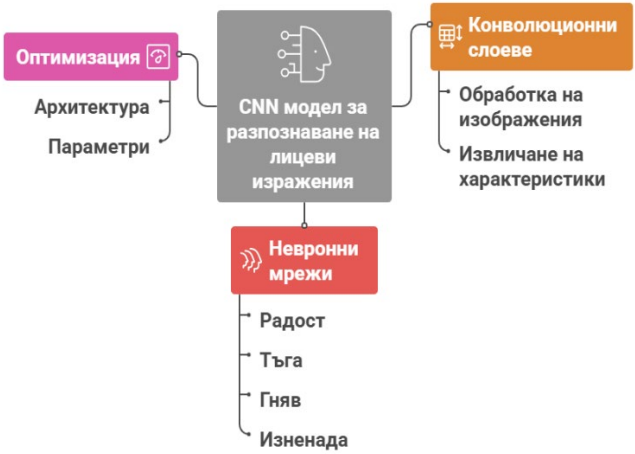


Фиг. 1. *Сравнение на грешка и брой параметри между CNN модели*



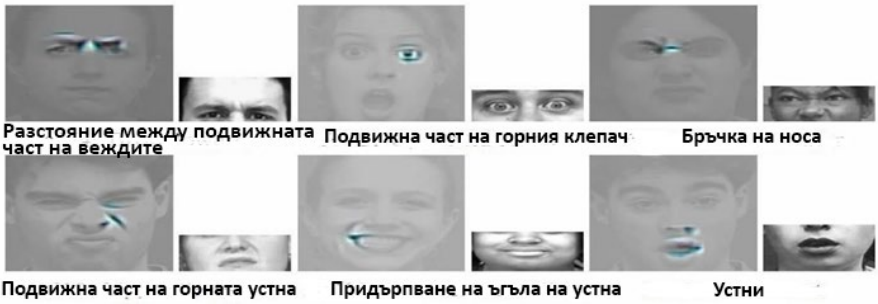
Фиг. 2. *Еволюция на CNN модели във времето*

Особено голям напредък е постигнат с методите на “дълбокото обучение” (deep learning), например свързващи невронни мрежи (CNNs), които в някои случаи достигат до 95% точност при анализ на лицеви изражения. На фиг. 3 е показа структура на CNN модел за лицево разпознаване. [1]



Фиг. 3. *Структура на CNN модел за лицево разпознаване*

Съществуват много различни психологически модели, които спомагат създаването на алгоритми за класификация на емоциите за анализ на лицеви изражения. Един от най-разпространените е моделът на Пол Екман, който определя 6 основни емоции- тъга, радост, страх, изненада, гняв и отвращение. Усмивката, например е често свързвана с радост, набръчканото чело с гняв или тревога, а повдигнатите вежди с изненада. Този модел е известен и като “Теория на шестте основни емоции на Екман”, показан на фигура 4. [2]



Фиг. 4. *Модел на Екман [1]*

Друг подход или метод за изследване е анализът на езика на тялото, при който се изследват позите, жестовете и движенията на тялото, от които се извеждат емоционалните състояния. Анализът на езика на тялото може да се използва за получаване на допълнителна информация, когато лицето на човек е частично закрито или не е надежден източник на емоции. Алгоритмите могат да анализират различни видове движения, като кимане с глава, жестове с ръце и промени в позата, за да класифицират емоционални състояния. Културните различия, при анализа на тялото, могат да бъдат предизвикателни и така да не се отчете правилната емоция. Пример за това може да е и дори простото кимане с глава. Всеизвестен факт е, че българите кимаме на обратно, тоест "да" е не и "не" е да.

Анализът на речта е още един метод, използван за определяне на емоциите чрез тона и височината на речта. Този метод може да предложи по-директно измерване на емоционалното състояние, особено когато се комбинира с лицево разпознаване и анализ на тялото. Алгоритмите използват обработка на сигнали и машинно обучение, за да анализират характеристики като интонацията, ударенията и ритъма на речта, както и фонемите и качеството на гласа. Тези методи се използват в системи за емоционално интелигентни асистенти, психотерапевтични приложения и анализ на клиентски разговори. Предизвикателство тук е вариацията на речевите модели при различни езици и диалекти, което затруднява изграждането на универсални модели.

Физиологичните алгоритми измерват биологични сигнали, като сърдечна честота, електропроводимост на кожата (EDA), честота на дишане и активност на мозъчните вълни (EEG). Тези параметри дават по-обективна представа за вътрешното емоционално състояние. Може да се приеме, че повишената сърдечна честота и потене, могат да показват стрес или страх, а стабилно дишане, може да е свързано с спокойствие или удоволствие. Такива алгоритми се прилагат в медицината, психологията, както и в обучителни среди за следене на емоционалното състояние на обучаемите. На фигура 5 е показана схема на комбинирана CNN-LSTM архитектура за анализ на емоции във видео поток. [1]



Фиг. 5. *Схема на комбинирана CNN-LSTM архитектура за анализ на емоции във видео поток.*

С времето е доказано, че смесването на няколко вида анализ на сигнали като лицеви изражения, гласови характеристики и физиологични показатели, за да направят по-точна и надеждна оценка на емоционалното състояние. Това смесване на сигнали е известно още и като мултимодално разпознаване на емоции. Комбинацията от анализ на лицеви изражения и глас може да повиши точността при определяне на емоции като гняв или страх. Мултимодалните алгоритми обикновено са по-сложни, но предоставят по-достоверни резултати в реални ситуации, при които един сигнал може да бъде замъглен или неточен.

Приложение на компютърното зрение в реално време

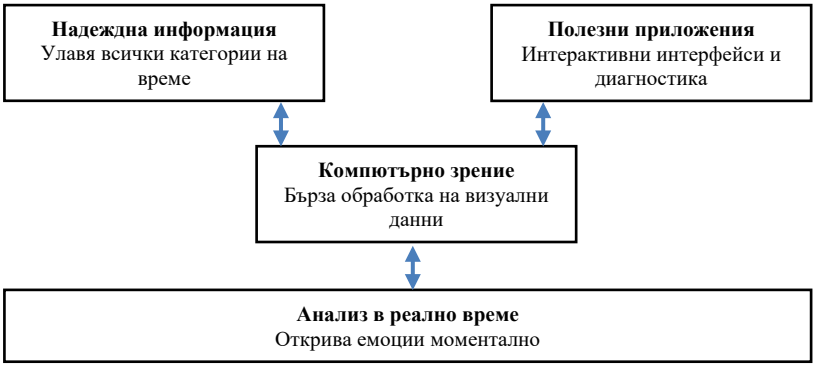
Предизвикателно е да се намери начин за прилагане на компютърното зрение в реално време, заради скоростта на „живото“ общуване на хората лице в лице. Когато общуваме, то е на забързани обороти и ако алгоритъма не е разработен правилно няма да улови всички категории на време. Следователно информацията няма да е надеждна, затова съвременните алгоритми за компютърно зрение могат да обработват огромни количества визуални данни бързо и автоматично.

Благодарение на развитието на високопроизводителни изчисления и дълбоки невронни мрежи, тези системи могат да анализират данни в реално време – например лицеви изражения или движения на тялото – и да откриват емоции моментално.

Това ги прави особено полезни в приложения като:

- системи за реално време (напр. интерактивни интерфейси, игри, виртуални асистенти);
- анализ на големи набори от видеоданни;
- медицинска диагностика, където времето за реакция е критично

- приложение в рекламата при анализ на реакцията на хората спрямо дадена новина. Не е тайна, че медиите и рекламата използват компютърното зрение в реално време. На всеки един от нас ни се е случвало да говорим с приятел за даден продукт и при влизането в интернет веднага ни излиза реклама за конкретния продукт. Тоест ни „подслушва“ докато си говорим, за да ни предложи най-добрия продукт на най-добрата цена. На фиг. 6 е показана схема на компютърно зрение в реално време. [1], [2]



Фиг. 6. *Компютърно зрение в реално време*

Предизвикателства при обща разработка на модели

Въпреки значителния подем на компютърното зрение, основните предизвикателства и затруднения пред които се изправя са

- сложността на човешките емоции;
- влиянието на външни фактори;
- културните различия;
- етичен аспект.

Поради своята многопластност и динамичност човешките емоции са трудни за обективно моделиране. Влошаването на точността на при разработването на модели, най-често да се дължи на влианието на външните фактори като осветление, ъгъл на камерата и частични закривания. Друг аспект са културните различия при които един и същ модел не е общо валиден за всички поради уникалността на всяка една култура. В наши дни етичния аспект при обработката на личните данни (GDPR) е основно предизвикателство пред което разработчиците на модели се изправят.

Етичните предизвикателства, включват защита на личните данни, алгоритмична справедливост и необходимост от информирано съгласие при събиране на биометрични данни. Липсата на международни стандарти за регулация увеличава риска от дискриминация и злоупотреба, особено при използване в образователни и корпоративни среди. Разработването на етична рамка, която да гарантира прозрачност на алгоритмите (обяснимост на

решенията), равен достъп до технологии без културна пристрастност и защита на личните и емоционални данни от неоторизирана употреба. Предизвикателствата пред разработчиците на модели, могат да имат следните рашениия:

- използването на мултимодални модели и бази от данни при разчитането на човешките емоции;
- използване на устойчиви архитектури и аргументация при иправяне пред предизвикателствата на външните фактори;
- интеркултурни данни и адаптивни модели при културните различия;
- информирано съгласие при събирането на данните.

Таблица 2 представя възможните решения и приложения на гореизброените предизвикателства, а фиг. 7 основни предизвикателства при разпознаване на човешки емоции чрез ИИ.

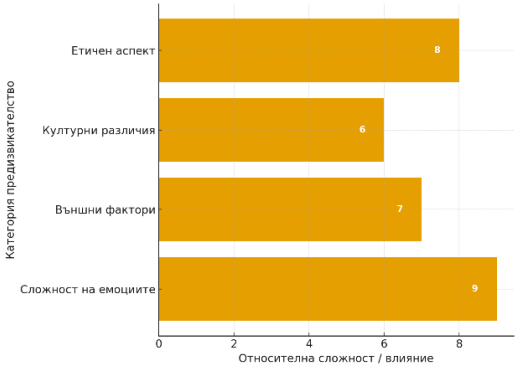
Таблица 2. *Възможни решения спрямо предизвикателствата*

Категория предизвикателство	Конкретни проблеми	Възможни решения / Мерки	Примери / Контекст
Сложност на човешките емоции	Многопластовост, динамичност	Използване на мултимодални данни, времеви модели, емоционални бази данни	Разпознаване на щастие, гняв, тъга в реално време
Външни фактори	Осветление, ъгъл на камерата, частични закривания	Аргументация на данни, нормализация, използване на устойчиви архитектури	Системи за наблюдение, роботика
Културни различия	Различно тълкуване на изрази и поведение	Интер-културни данни, адаптивни модели, локализация на модели	Глобални платформи за обучение или маркетинг
Етичен аспект	Лични данни, алгоритмична пристрастност	Прозрачност на алгоритми, информирано съгласие, защита на данни	Биометрични системи, образователни и корпоративни приложения

Заключение

Компютърното зрение се превръща в мощен инструмент за разпознаване на човешки емоции и поведение в реално време. Чрез съчетание на визуален анализ, дълбоко обучение и мултимодални данни, тези технологии дават възможност за създаване на системи, които могат да разбират и реагират на емоционалните състояния на човека. Развитието на емоционално интелигентни системи, които интегрират компютърно зрение, когнитивна психология и изкуствен интелект, имат потенциал да трансформира взаимодействието между човека и машината и да подобри качеството на живот в множество социални и професионални контексти. Въпреки това, тяхното бъдеще зависи от преодоляването на етичните предизвикателства, подобряването на надеждността

в реални условия и гарантирането на прозрачност при използването на лични данни. Съчетанието между изкуствен интелект, когнитивна психология и компютърно зрение може да доведе до следващо поколение „емоционално интелигентни“ системи, които ще подобрят комуникацията между хора и машини и ще намерят приложение в здравеопазването, образованието, сигурността и социалните технологии. [4]



Фиг. 7. *Основни предизвикателства при разпознаване на човешки емоции чрез ИИ*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Jayaswal R., Ansari M. A., Dixit M., Singh D. K., Ahmad S., Advances in Facial Expression Recognition Technologies for Emotion Analysis, 2025, Discover Computing, Vol. 28, Issue 1. DOI: 10.1007/s10791-025-09699-8.

[2] Vashishth T. K., Panwar R., Vikas, Kumar S., Kumar B., Chaudhary S., Exploring the Role of Computer Vision in Human Emotion Recognition: A Systematic Review and Meta-Analysis, 2023, In: Proceedings of the 2023 Second International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS). DOI: 10.1109/ICAISS58487.2023.10250614.

[3] Tan M., Le Q. V., EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks, 2019, DOI: 10.48550/arXiv.1905.11946.

[4] Denev D., Tsankov Ts. Progress and trends in machine vision smart cameras. Scientific Conference with international participation MATTEH 2020, Conference proceedings, Vol. 2, Shumen, 2020, ISSN 1314-3921, pp. 116-124.

[5] Лалев Х. Л., Цанков Ц. С., Георгиева Ц. Л. Приложение на компютърното зрение в системите за ревърс инженеринг. Научна конференция MATTEX 2016, Шумен, 2016, ISSN 1314-3921.

ЕФЕКТИВНОСТ И ПОРТИРУЕМОСТ НА ПАРАЛЕЛНИТЕ ИЗЧИСЛЕНИЯ ВЪРХУ ГРАФИЧНИ ПРОЦЕСОРИ С CUDA И OPENCL

Валентин Г. Георгиев, Милена Х. Пенева

EFFICIENCY AND PORTABILITY OF PARALLEL COMPUTING ON GRAPHICS PROCESSORS USING CUDA AND OPENCL

Valentin G. Georgiev, Milena H. Peneva

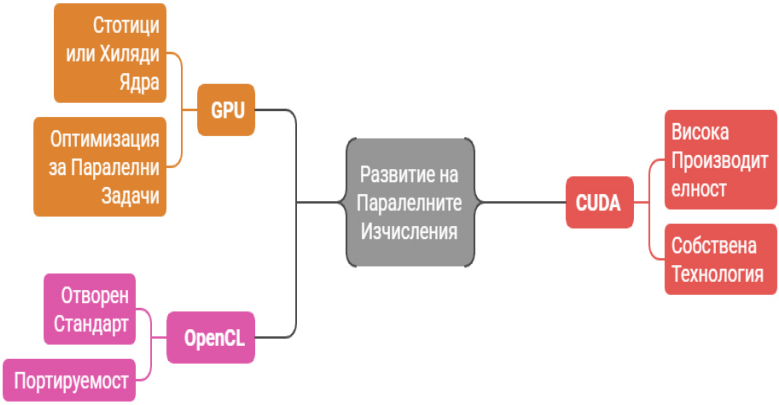
ABSTRACT: *Graphics processing units have become a key component for high-performance computing due to their massively parallel architecture. Among the most widely used programming models for developing GPU applications are CUDA and OpenCL, which offer different approaches to performance, portability, and optimization. This paper analyses the performance of parallel computing implemented using CUDA and OpenCL, focusing on GPU architectural features, execution models, optimization capabilities, and application portability across hardware platforms. Key factors affecting performance are presented, as well as challenges associated with heterogeneous computing environments. The results highlight that despite the higher performance of CUDA on NVIDIA hardware, OpenCL remains the preferred solution for developing portable and hardware-independent applications.*

KEYWORDS: *GPU computing, CUDA, OpenCL, Parallel programming, High-performance computing, Memory architecture*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25VGM

1. Въведение

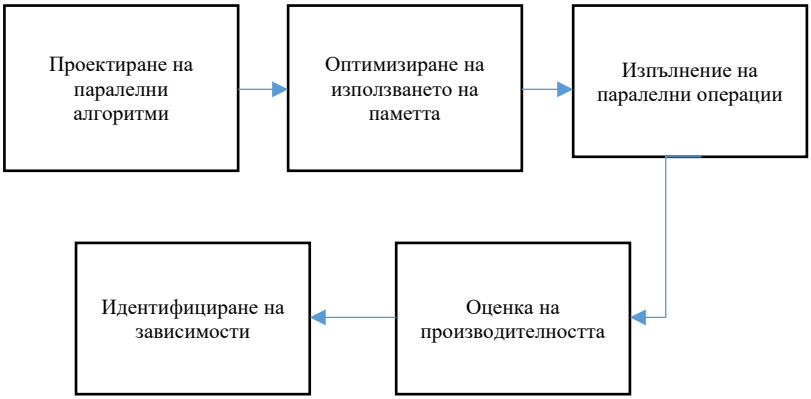
Развитието на паралелните изчисления поставя GPU в центъра на редица научни, инженерни и индустриални приложения – машинно обучение, био информатика, симулации и анализ на големи данни. За разлика от традиционните CPU, графичните процесори съдържат стотици или хиляди изчислителни ядра, оптимизирани за масивно паралелни задачи. Това налага създаването на програмни модели, които да позволят на разработчиците ефективно да използват тази архитектура. CUDA и OpenCL са двата основни подхода, чрез които се реализират GPU изчисления. CUDA е собствена технология на NVIDIA, докато OpenCL представлява отворен стандарт, поддържан от множество производители. Разликите между тях оформят въпроса за баланс между висока производителност и портируемост. На фиг. 1 е показано развитието на паралелните изчисления с GPU. [1], [5], [9]



Фиг. 1. *Развитие на паралелните изчисления с GPU*

2. GPU АРХИТЕКТУРА ЗА ПАРАЛЕЛНИ ИЗЧИСЛЕНИЯ

Графичните процесори представляват архитектура, създадена с идеята да обработва голям обем еднотипни операции едновременно. Поради дизайна си GPU използват модела SIMD/SIMT, при който множество нишки изпълняват една и съща инструкция, но върху различни данни. Този подход позволява да се постигне изключително висока ефективност при операции, които могат да бъдат разделени на множество независими подзадачи. В резултат GPU се превръщат в подходящ инструмент за задачи, изискващи масивен паралелизъм. Една от основните причини GPU да бъдат толкова мощни е големият брой изчислителни ядра. Те не са толкова сложни като CPU ядрата, но са оптимизирани за паралелна и повтаряща се работа. Това позволява всяко ядро да обработва част от данните, а общият резултат да бъде акумулиран значително по-бързо от последователния подход. Когато задачата е добре паралелизируема, GPU може да предложи редове големина по-висока скорост от стандартни процесори. Паметта при GPU също е организирана по специален начин. Йерархията на паметта включва различни слоеве с различна скорост, като глобална, споделена и локална памет. Правилното им използване е критично за постигане на висока производителност, тъй като неправилното управление на достъпа води до забавяне на нишките и загуба на паралелна ефективност. Това поставя значителни изисквания към разработчика при оптимизацията на алгоритмите. Поради всичко това програмният модел при GPU изисква внимателно структуриране на данните и изчисленията. Алгоритмите трябва да бъдат проектирани така, че да се възползват максимално от масивния паралелизъм. Когато задачата съдържа много зависимости или е трудна за разпределяне, GPU не може да разгърне пълния си потенциал. Оптимизацията често изисква дълбоко разбиране на хардуера, но когато е направена правилно, предоставя значителни подобрения в производителността. На фиг. 2 е показан цикъл на оптимизация на GPU. [2], [10]



Фиг. 2. *Цикъл на оптимизация на GPU*

3. CUDA МОДЕЛ НА ПРОГРАМИРАНЕ И ЕФЕКТИВНОСТ

CUDA е модел на програмиране, създаден от NVIDIA с цел пълноценно използване на техните графични процесори. Той предоставя директен достъп до архитектурните особености на GPU и затова се превръща в стандарт де факто в много научни и инженерни области. Благодарение на близостта си до хардуера CUDA позволява на разработчиците да реализират оптимизации, които са трудни или дори невъзможни при по-абстрактни програмни модели. Това превръща CUDA в мощен инструмент за високопроизводителни изчисления. Една от причините CUDA да бъде толкова ефективна са богатите библиотеки, които NVIDIA поддържа. Те са предварително оптимизирани и използват най-новите архитектурни подобрения на GPU, което позволява постигане на висока производителност без нужда от писане на ниско ниво код. Тези библиотеки се използват масово в машинно обучение, обработка на изображения, научни симулации и други области, където скоростта е ключов фактор. По този начин CUDA намалява усилието за разработка и същевременно увеличава ефективността. Друг аспект, който отличава CUDA, е екосистемата от инструменти за профилиране и разработка. Инструменти като Nsight позволяват детайлен анализ на производителността и идентифициране на проблеми в паметта, нишките или синхронизацията. Благодарение на това разработчиците могат да оптимизират своите програми до много висока степен, като използват специфичните характеристики на архитектурата. Поддръжката от NVIDIA гарантира, че новите функции и хардуерни подобрения стават достъпни бързо. Основният недостатък на CUDA е ограничената портируемост. Тъй като работи единствено върху NVIDIA устройства, приложенията, написани с CUDA, не могат директно да бъдат изпълнявани на AMD, Intel или други графични платформи. Това създава зависимост от една екосистема и ограничава приложимостта в хетерогенни среди. Въпреки това, за случаи, при които се използва NVIDIA хардуер, CUDA остава най-ефективният избор. [3], [7], [12]

4. OPENCL ПОРТИРУЕМОСТ И УНИВЕРСАЛНОСТ

OpenCL представлява отворен стандарт, който има за цел да обедини различни видове хардуер под един общ модел за паралелно програмиране. Той е разработен така, че да може да работи на CPU, GPU, FPGA и различни специализирани ускорители, което го прави изключително гъвкав. Това позволява на разработчиците да създават приложения, които не зависят от конкретна платформа или производител. В много индустрии тази портируемост е съществено предимство. Големият плюс на OpenCL е възможността за работа в хетерогенни среди, където различни устройства изпълняват едновременно части от задачата. Тази гъвкавост е важна, когато системата трябва да се адаптира към различни конфигурации или да използва наличните ресурси по най-оптимален начин. На фиг. 3 е показано подобряването на използваемостта на OpenCL.



Фиг. 3. *Подобряване на използваемостта на OpenCL*

За разлика от затворените екосистеми OpenCL не заключва разработчика към конкретен хардуер, което спомага за по-голяма независимост и дългосрочна устойчивост. Въпреки предимствата си OpenCL често е по-сложен за използване. Синтаксисът му е по-обемен, а програмният модел изисква по-фина настройка от страна на разработчика. Това прави първоначалното навлизане по-трудно, особено за тези, които предпочитат по-абстрактни и удобни интерфейси. Липсата на директна интеграция с хардуера също води до това, че в някои случаи приложението няма да може да постигне максималната възможна производителност. Друг проблем на OpenCL е забавеното внедряване на нови хардуерни възможности. Понякога производителите не предоставят своевременна поддръжка или не оптимизират напълно своите драйвери, което води до разминаване между потенциала на устройството и реалната производителност. Въпреки това OpenCL остава ценен избор, когато портируемостта и универсалността са по-важни от максималната скорост. [4], [6]

5. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ЕФЕКТИВНОСТ СПРЯМО ПОРТИРУЕМОСТ

Сравнението между CUDA и OpenCL обикновено се свежда до това дали се търси максимална производителност или по-голяма портируемост на кода. CUDA е силно специализирана технология, която използва пълния потенциал на NVIDIA устройствата и предоставя инструменти, оптимизирани специално за тяхната архитектура. Това ѝ позволява да постигне изключително високи резултати, но същевременно ограничава приложенията ѝ до една хардуерна екосистема. От своя страна OpenCL е проектиран като универсално решение, което поставя акцент върху работата на различни устройства и платформи. Ефективността при CUDA идва именно от дълбоката интеграция с хардуера. Всеки нов модел GPU на NVIDIA е придружен от софтуерни обновления, които незабавно позволяват използване на новите функции. Това превръща CUDA в предпочитан избор за научни изчисления, машинно обучение и обработка на големи масиви от данни, когато изчислителната мощ е водещ фактор. Но тази тясно фокусирана оптимизация означава, че приложението губи възможността да се изпълнява на други устройства, което в определени контексти е сериозно ограничение. [8], [11]

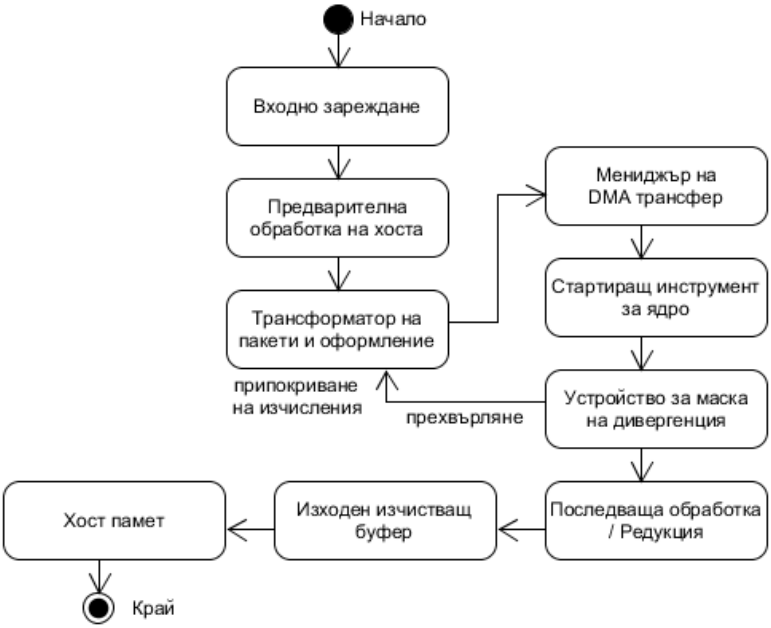
OpenCL компенсира по-ниската си оптимизация за конкретен хардуер с по-широко приложение. Той е способен да работи не само върху GPU, но и върху CPU, FPGA и други ускорители, което позволява една програма да бъде използвана в хетерогенни среди без съществени промени. Това е особено полезно в системи, където хардуерните компоненти се различават, а разработчиците се стремят към единен кодов базис. Въпреки това липсата на специализация често води до по-ниска производителност спрямо това, което може да се постигне чрез CUDA на NVIDIA устройства. В крайна сметка изборът между CUDA и OpenCL зависи от нуждите на проекта. Ако важен е максималният резултат върху конкретна архитектура, CUDA е логичният избор. Ако обаче приоритет са универсалността и поддръжката на множество устройства, OpenCL представлява по-гъвкаво решение.

6. ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПРИ ОПТИМИЗАЦИЯТА

Оптимизацията на паралелните изчисления е комплексна задача, която изисква разбиране на хардуерните особености и програмните модели. Един от основните фактори е ефективното използване на различните слоеве памет, тъй като пропускателната способност и латентността имат директно влияние върху производителността. Когато паметта не се използва правилно, нишките прекарват повече време в изчакване, отколкото в реални изчисления, и така се губи предимството на паралелизма. Това поставя сериозни изисквания към начина на структуриране на данните. Друг важен аспект е намаляването на дивергенцията между нишките. Паралелните процесори са най-ефективни, когато множество нишки изпълняват еднакви инструкции едновременно, а различните пътища на изпълнение водят до загуба на ефективност. Ето защо алгоритмите трябва да бъдат разработени така, че разклоненията в кода да бъдат минимални

или да се маскират чрез подходящи техники. Колкото по-структурирани и предвидими са операциите, толкова по-добри са резултатите.

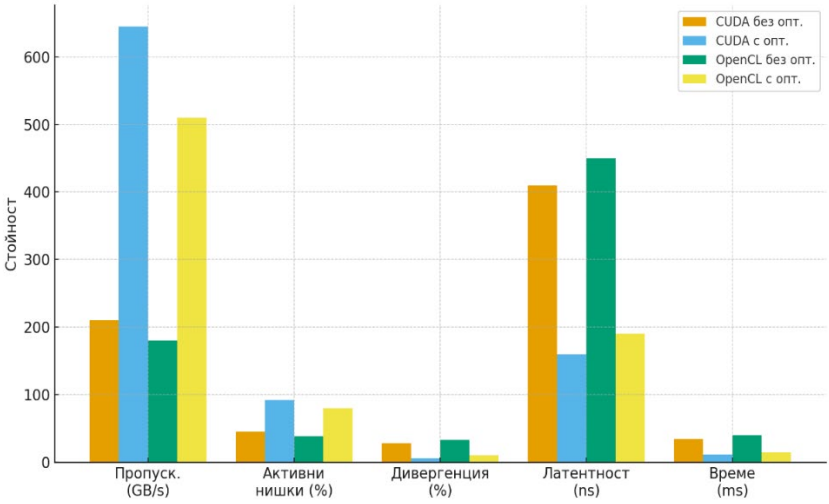
Не по-малко значим е балансът между изчисленията и трансфера на данни. В много случаи преместването на информацията от хост към устройството и обратно може да се окаже по-бавно от самите изчисления. Това налага техники като минимизиране на копиранията, използване на унифицирана памет или запазване на данните върху ускорителя възможно най-дълго. Правилното проектиране на този баланс често определя крайния успех в оптимизацията. Разликите между CUDA и OpenCL стават най-ясни именно в областта на оптимизацията. При CUDA процесът е тясно обвързан със специфичните особености на архитектурата на NVIDIA, което позволява по-прецизни оптимизации.. Фиг. 4 по долу показва алгоритъм за оптимизация и код. Таблица 1 показва основни фактори, влияещи върху производителността на GPU, а фиг. 5 резултати.



Фиг. 4. *Алгоритъм за оптимизация*

```
// Host
allocate host_buf [2], device_buf [2]
for each batch_index in 0..N_batches-1:
idx = batch_index % 2
```

```
prepare_layout(host_buf [idx], input, batch_index)
async_copy_host_to_device(device_buf [idx], host_buf [idx], stream [idx])
if batch_index > 0:
// launch kernel on previous buffer while copying current
prev = (batch_index-1) % 2
launch_kernel(device_buf [prev], stream [prev])
end
endfor
// launch kernel for last
launch_kernel(device_buf [(N_batches-1)%2], stream [(N_batches-1)%2])
synchronize_all_streams()
async_copy_results_back_and_finalize()
// Device kernel (per tile)
__kernel tile_kernel(device_data,...):
local shared_tile [ TILE_SIZE ]
gid = global_id()
// prefetch into registers / shared
load_to_shared(shared_tile, device_data, gid)
barrier()
// compute with minimal branching
result = compute_tile(shared_tile)
// local reduction
atomic_or_local_reduction(result)
if is_block_leader():
write_back(result)
```



Фиг. 5. *Сравнение на показатели за производителност*

Таблица 1. *Основни фактори влияещи върху производителността на GPU*

Фактор	CUDA (без опт.)	CUDA (с опт.)	OpenCL (без опт.)	OpenCL (с опт.)
Пропускателна способност (GB/s)	210	645	180	510
Активни нишки (%)	45%	92%	38%	80%
Дивергенция (%)	28%	6%	33%	10%
Латентност памет (ns)	410	160	450	190
Общо време (ms)	34, 5	11, 2	39, 8	14, 5

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разглеждането на CUDA и OpenCL показва два различни философски подхода към високопроизводителните изчисления. CUDA предлага силна интеграция с конкретна хардуерна линия и позволява постигане на максимална производителност, когато задачата се изпълнява върху NVIDIA устройства. Това я прави предпочитана в научни среди, машинно обучение и индустрии, в които скоростта е определящ фактор. В много случаи изборът на CUDA означава жертване на портируемостта в замяна на по-високи резултати. OpenCL, напротив, се стреми към гъвкавост и универсалност. Неговата сила е в способността му да работи на широк набор от устройства, което позволява създаването на приложения, независими от конкретна хардуерна платформа. Това го прави ценен инструмент за системи, които разчитат на различни типове ускорители или изискват дългосрочна поддръжка, без обвързване с един производител. Макар понякога да отстъпва по ефективност, OpenCL предлага стабилност и адаптивност в разнообразни среди. Изборът между двете технологии винаги трябва да бъде обвързан с целите на конкретния проект. Ако производителността е централен критерий и хардуерът е предварително избран, CUDA е оптималното решение. Ако обаче се търси преносимост, дългосрочна устойчивост и работа в хетерогенна среда, OpenCL се откроява като по-подходящ вариант. В този избор няма универсално правилен отговор, защото всяка технология е силна в различни аспекти. Очакванията за бъдещето са свързани с още по-тясна интеграция между хардуер и софтуер, както и с разширяване на ролята на GPU в общите изчислителни процеси. Независимо от подхода, паралелните архитектури ще продължат да бъдат ключови за обработката на големи обеми данни и сложни симулации. Развитието на стандартите и инструментите ще улеснява адаптацията на разработчиците и ще дава възможност за още по-ефективни решения в областта на високопроизводителните изчисления. [4], [5], [9]

ЛИТЕРАТУРА

[1] Denev D., Docheva A., Functional Analysis of Computational Performance of Nvidia RTX and Amd Radeon Graphics Cards, 2025, XVIII International Scientific Conference on Innovations in Technology and Education, Belovo, ISBN 978-5-00137-528-9 (item 2), pp. 117-122.

[2] Denev D., RISC Architecture Comparison Between QUALCOMM SNAPDRAGON 810 and APPLE A9, 2021, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XI E, Faculty of technical sciences, ISSN 1311-834X, pp. 121-127.

[3] Denev D., Testing AMD Ryzen Microprocessor and its Energy Efficiency, 2022, Journal scientific and applied research, vol. 22, International Journal, ISSN 1314-6289, pp. 81-92.

[4] Denev D., Synthesis and Analysis of Linear Discrete and Time Invariant Systems Used in the Field of Communications using Matlab and Signal Processing Toolbox, 2022, Journal scientific and applied research, vol. 22, International Journal, ISSN 1314-6289, pp. 72-80.

[5] Станев С. С., Николов Н. Р., Цанков Ц. С. Клъстерна паралелна изчислителна система в среда MPI. Научна конференция MATTEX 2010, сборник доклади, т. 1, Шумен, 2010/2011, ISSN 1314-3921, с. 229-232.

[6] Лалев Х. Л., Цанков Ц. С. Синтез на компютърни системи за работа в реално време. Международна научна конференция, посветена на 105-годишнината от рождението на Джон Атанасов и Джон фон Нойман, Шумен, 2008, ISBN 978-954-577-540-6.

[7] Iliev M. P., Nikolov N. R., Tsankov T. S. Hardware implementation of the shrinking-multiplexing generator of pseudo-random sequences. Journal "Electrotechnica & Electronica", Vol. 46, No 7-8/2011, ISSN 0861-4717.

[8] Ivanov V., "Analysis of Computer Simulation in Software Environment of One-Phase Bridge Voltage Inverter for a Photovoltaic System", Annual of Assen Zlatarov University, Burgas Bulgaria, Vol. XLVI, Book 1, 2017, стр. 96 – 99, ISSN 1312-1359.

[9] Uzun, M. B., Atanasov, V. T., Common conception of software-defined networks, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Konstantin Preslavsky University Press, vol. XIII E, 2023, pp.112-119, ISSN 2815-4703

[10] Беджев Б. Й., Йорданов С. С., Цанков Ц. С., Станева Л. А. Приложение на линейните рекурентни последователности над крайни полета при синтеза на сложни широколентови сигнали. Научна конференция MATTEX 2012, Шумен, 2012, ISSN 1314-3921, с. 79-86.

[11] Ivanov V., Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; International Scientific Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems – CIEES 2021, AIP Conf. Proc. 2570, 030010-1–030010-8, ISBN: 978-0-7354-4375-4.

[12] Linko Nikolov, Nikolay Kulev, „Processing of interference-corrupted signals in cellular communications", III Internarional scientific and technical conference „Technics. Technologies. Education. Safety", В. Търново, Май 2015 г., International scientific journal "Machines. Technologies. Materials.", web ISSN 1314-507X.

ИНТЕГРАЦИЯ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ И ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ В СОЦИАЛНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАТА ПРАКТИКА

Стефания М. Червенкова, Даниел Р. Денев

INTEGRATION OF INTELLIGENT SYSTEMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SOCIAL-PEDAGOGICAL PRACTICE

Stefania M. Chervenkova, Daniel R. Denev

ABSTRACT: *The development of smart technologies and artificial intelligence (AI) creates new opportunities for improving socio-pedagogical activity. This report aims to explore the opportunities, challenges and prospects related to the integration of AI and intelligent systems in the socio-pedagogical context. An overview of existing technological solutions is presented, the effects of their implementation on professional practice are analyzed, as well as the ethical and social dimensions of this transformation. Attention is paid to both good practices and the risks of dehumanization of social work. The report offers a critical view of the role of new technologies and highlights the need for a balanced approach in which AI is used as a tool in the service of man, not as a substitute for him. Guidelines for the integration of AI into socio-pedagogical practice are proposed, with a focus on ethical norms, professional training and sustainable development of the sector.*

KEYWORDS: *Artificial intelligence, Intelligent systems, Socio-pedagogical practice, Technologies, Digitalization, Ethics*

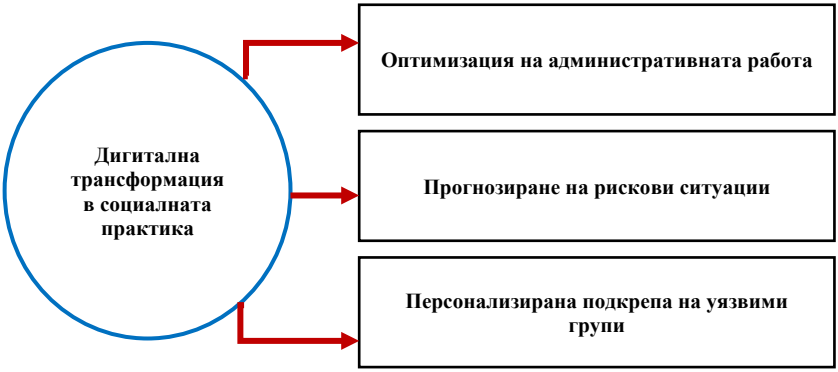
DOI: https://doi.org/10.46687/YT25SDD

1. Въведение

В съвременното общество дигиталната трансформация засяга почти всички сфери на човешката дейност, включително и тези, които традиционно се свързват с хуманитарна интервенция и личен контакт – като социалната и педагогическата практика. Едновременно с това, натискът върху социалните услуги и образованието нараства вследствие на демографски, икономически и културни промени, което налага търсене на нови ефективни решения и подходи.

Изкуственият интелект и интелигентните системи вече се използват в различни обществени сфери – от здравеопазване до транспорт и от бизнес анализи до културни продукти. Потенциалът им да подпомагат социално-педагогическата дейност е голям – от оптимизация на административната работа, през прогнозиране на рискови ситуации, до персонализирана подкрепа на уязвими групи. Тази статия разглежда именно как тези технологии могат да бъдат

внедрени в практиката по начин, който е едновременно ефективен, етичен и хуманен. На фиг. 1 е показано разкриване на дигиталната трансформация. [2], [8]



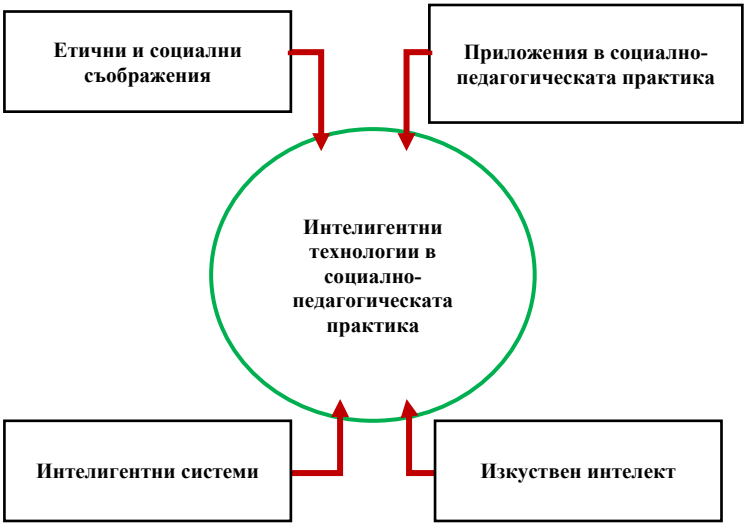
Фиг. 1. *Разкриване на дигиталната трансформация в социалната практика*

2. Концептуални основи и технологичен контекст

За да се разбере потенциалът и мястото на интелигентните технологии в социално-педагогическата практика, е необходимо да се изяснят както ключовите понятия, така и съвременният технологичен контекст, в който те се развиват и прилагат. Изкуственият интелект (ИИ) представлява съвкупност от технологии и методи, които позволяват на машините да имитират когнитивни функции, присъщи на човешкия ум – като учене, разпознаване на модели, планиране, вземане на решения, обработка на естествен език и адаптация към нови ситуации. ИИ не е самостоятелна технология, а обхваща широк спектър от приложения – от машинно обучение (machine learning) и невронни мрежи, до обработка на големи данни (big data) и автономни системи. Тези технологии намират все по-широко приложение в публичния и частния сектор, включително в сфери с висока социална значимост. Интелигентните системи, от своя страна, представляват интеграция на ИИ с други технологии (като сензори, бази данни, облачни услуги и интерфейси), които позволяват на дадена система да извършва сложни задачи, да комуникира с потребители и да се адаптира спрямо контекста. Те могат да бъдат използвани както за автоматизация на рутинни дейности, така и за подпомагане на експертни решения – например чрез анализ на поведенчески модели или социална динамика. [3], [10], [13]

В контекста на социално-педагогическата практика – която обединява образователни, социални и консултативни дейности в подкрепа на уязвими групи – ИИ може да играе съществена роля. Става дума не само за въвеждане на нови инструменти, а за преосмисляне на подхода към човека, данните и взаимодействието между професионалист и клиент. От дигитални платформи за проследяване на социален напредък, през системи за ранно сигнализиране на проблемно поведение, до чатботи за емоционална и образователна подкрепа – ИИ

се превръща в инструмент с потенциал да трансформира практиката. В същото време, използването на тези технологии повдига важни въпроси, свързани с достъпа, етиката, защитата на личните данни и професионалната подготовка. Интеграцията на интелигентни системи в хуманитарната сфера изисква не просто технологична грамотност, а и дълбоко осъзнаване на социалните и културни контексти, в които те функционират. Следователно, концептуалната рамка на тази трансформация трябва да бъде едновременно технологично осъзната и хуманитарно ангажирана. На фиг. 2 е показано разпределение на технологии. [4], [7], [11]



Фиг. 2. *Разпределение на интелигентните технологии в социално-педагогическата практика*

3. Приложения на изкуствения интелект в социално-педагогическата практика

Интегрирането на изкуствен интелект в социално-педагогическата дейност се изразява в прилагането на конкретни технологии и системи, които подпомагат както специалистите, така и потребителите на социални услуги. Приложенията на ИИ могат да варират – от административно улеснение и анализ на данни до активна подкрепа за вземане на решения и комуникация с уязвими лица. Въпреки че тези технологии не могат да заменят човешкия контакт, те предоставят инструменти за по-ефективна, бърза и персонализирана подкрепа.

С нарастващия обем от информация, с която социално-педагогическите специалисти трябва да работят, и с увеличеното търсене на индивидуализирани подходи, ИИ предлага решение на редица практически предизвикателства. По-долу са представени три основни направления, в които ИИ вече намира приложение или има потенциал да бъде внедрен в близко бъдеще.

— ***Прогнозна аналитика и идентифициране на рискови случаи***

Прогнозната аналитика използва алгоритми на ИИ, които анализират големи обеми от структурирани и неструктурирани данни, за да открият модели, тенденции и вероятности за бъдещи събития. В социално-педагогическия контекст това може да означава откриване на рискови фактори при деца и младежи, които са изложени на опасност от отпадане от училище, домашно насилие, социална изолация или употреба на психоактивни вещества. Чрез обработка на данни от училищни дневници, социални доклади, здравни картони и други източници, системите могат да „алармират“ специалистите за настъпваща криза. Това позволява навременното предприемане на интервенции, което увеличава ефективността на работата и предотвратява сериозни последици. В страни като Обединеното кралство и САЩ вече се използват такива системи за проследяване на ученици в риск, като се отчита не само академичната успеваемост, но и социално-поведенчески индикатори.

— ***Виртуални асистенти и чатботи***

Виртуалните асистенти и чатботите са едни от най-достъпните и разпознаваеми форми на ИИ, които намират все по-широко приложение в социалната и образователната сфера. Те могат да отговарят на въпроси, да насочват потребители към подходящи ресурси, да напомнят за важни действия (напр. срещи, документи), а в някои случаи – да предоставят елементарна емоционална подкрепа. В социално-педагогическата практика чатботите се използват за първоначален контакт с младежи, особено в ситуации на тревожност, насилие или социална изолация, когато те се притесняват да говорят директно с възрастни или авторитети. Виртуални помощници, работещи 24/7, могат да предложат първоначални насоки, да помогнат при попълване на документи или да свържат потребителя с реален специалист. Освен това те са полезен инструмент за хора с увреждания, езикови бариери или ограничен достъп до услуги.

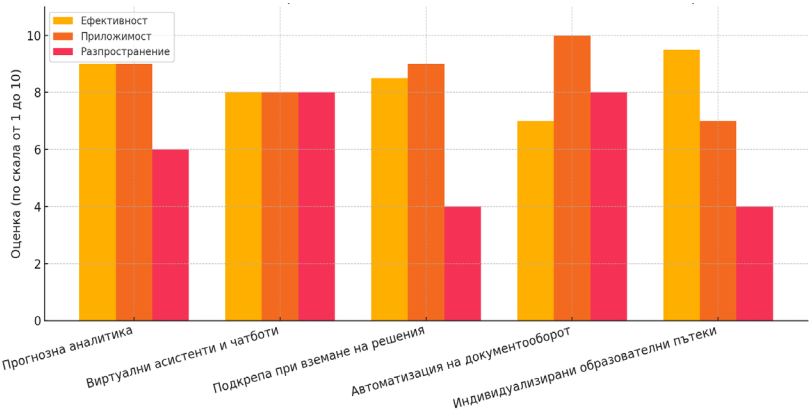
— ***Подкрепа при вземане на професионални решения***

Изкуственият интелект може да бъде използван и като средство за подпомагане на професионалистите при вземане на информирани решения, особено когато става въпрос за сложни случаи с множество взаимосвързани фактори. С помощта на алгоритми, които анализират минали случаи, техния изход и приложените интервенции, системите могат да предлагат алтернативни подходи или да сигнализират за неподходящи модели на действие. Например, при работа с дете, преживяло насилие, ИИ може да подпомогне социалния работник чрез достъп до обобщени данни за успешни интервенции в сходни ситуации. В системи за мултидисциплинарна подкрепа, ИИ може да координира информация между училище, социални служби и здравни специалисти, като осигурява цялостен поглед върху случая. По този начин се увеличава обективността на анализа, намалява се субективният риск от грешка и се улеснява индивидуалният подход към всеки клиент. [5], [12], [15]

На таблица 1 и фиг. 3 са показани основни приложения на изкуствен интелект и резултати.

Таблица 1. *Основни приложения на изкуствен интелект в социално-педагогическата практика и оценка на тяхната ефективност*

Приложение	Функции и ползи	Степен на ефективност	Ниво на приложимост
Прогнозна аналитика	Ранно идентифициране на рискове чрез анализ на големи данни	9/10	Средна
Виртуални асистенти и чатботи	Поддръжка 24/7, насочване към ресурси, начална комуникация с уязвими групи	8/10	Средно висока
Подкрепа при вземане на решения	Алгоритмично подпомагане на професионални преценки в сложни случаи	8, 5/10	Ниска
Автоматизация на документооборот	Спестяване на време и ресурси при административни дейности	7/10	Много висока



Фиг. 3. *Оценка на основните приложения на ИИ в социално-педагогическата практика*

4. Предизвикателства и рискове при интеграцията на ИИ в социално-педагогическата практика

Въпреки значителните ползи, които изкуственият интелект и интелигентните системи предлагат в подкрепа на социално-педагогическата дейност, тяхното внедряване не е лишено от съществени предизвикателства. Технологичният напредък повдига редица въпроси, свързани с етиката,

сигурността, човешкия контакт, качеството на услугата и компетентността на професионалистите. Без ясно дефинирани рамки, съчетани с критичен подход, съществува реална опасност ИИ да бъде използван по начин, който противоречи на основните принципи на социалната и педагогическата работа – хуманност, емпатия, индивидуален подход и социална справедливост. Настоящата част на статията разглежда ключовите рискове, които съпътстват интеграцията на ИИ в социално-хуманитарната сфера. Анализирани са четири основни проблема: етичните дилеми, опасността от обезчовечаване на услугите, ненадеждността на алгоритмите, както и необходимостта от адекватна подготовка на специалистите. Осъзнаването и адресирането на тези предизвикателства е критично за устойчивото, отговорно и ефективно прилагане на интелигентни технологии в подкрепа на уязвими групи и общности. [6], [12], [14]

— ***Етични дилеми и отговорност***

Един от най-значимите проблеми, произтичащи от използването на ИИ в социалната и педагогическа практика, е свързан с етиката и отговорността. Изкуственият интелект не може самостоятелно да носи морална отговорност за своите действия или препоръки – тя остава в ръцете на специалиста или институцията, която използва системата. Това поражда въпроси като: Кой носи отговорност при грешка, взета въз основа на ИИ препоръка? Или: Допустимо ли е важни решения за съдбата на дете или семейство да се взимат чрез алгоритъм? Нещо повече – много от алгоритмите, които управляват ИИ системите, са непрозрачни (т.нар. „черни кутии“) и не позволяват проследяване на логиката зад дадено решение. Това противоречи на принципите на прозрачност, отчетност и информирано съгласие, които са в основата на социалната работа. Оттук произтича нуждата от разработване на етични насоки, законодателни механизми и професионални стандарти, които да регулират използването на ИИ в тази сфера. На таблица 2 са показани предизвикателства и ограничения.

Таблица 2. *Предизвикателства и ограничения при използване на ИИ*

Предизвикателство	Потенциален риск или ограничение
Липса на човешки контакт	Риск от обезчовечаване и отчуждение при прекомерна автоматизация
Етични дилеми	Въпроси около поверителността на лични данни и алгоритмични пристрастия
Недостиг на дигитална грамотност	Специалистите могат да имат затруднения при работа с ИИ системи
Неравен достъп до технологии	Уязвими групи може да нямат достъп до устройствата или мрежите, необходими за използване на ИИ
Зависимост от алгоритми	Прекомерно разчитане на автоматични решения без критично мислене от страна на професионалистите

— ***Риск от обезчовечаване на социално-педагогическата дейност***

Един от сериозните рискове при технологизацията на хуманитарни услуги е замяната на човешкото взаимодействие с дигитални процеси. Социалната и педагогическата работа изискват дълбоко разбиране, емпатия, съпреживяване и междуличностна комуникация – качества, които изкуственият интелект не може да възпроизведе по автентичен начин. Когато технологии като чатботи и автоматизирани препоръчителни системи започнат да заменят личния контакт, съществува опасност от формализиране на услугите и загуба на доверие от страна на потребителите. Възприемането на клиента като „набор от данни“ може да доведе до обезличаване на човека и механизиране на подкрепата. Следователно ИИ трябва да се разглежда като допълнение към, а не като заместител на човешкия фактор.

— ***Надеждност и пристрастие в алгоритмите***

Алгоритмите, които стоят в основата на ИИ, се „обучават“ въз основа на реални данни – и именно там се крие опасност от репродуциране или дори засилване на съществуващи социални неравенства. Ако използваните бази данни съдържат пристрастия – например свързани с етнос, пол, социален статус или семейна структура – алгоритмите могат да вземат дискриминационни решения без човешка намеса. Подобни „невидими“ пристрастия трудно се откриват и могат да останат не оспорени, ако професионалистът разчита сляпо на системата. Освен това, недостатъчно тестваните алгоритми могат да дават неверни препоръки, особено в комплексни случаи. Това подчертава необходимостта от критичен подход, тестване на точността и прозрачност на критериите за вземане на решения в ИИ системите.

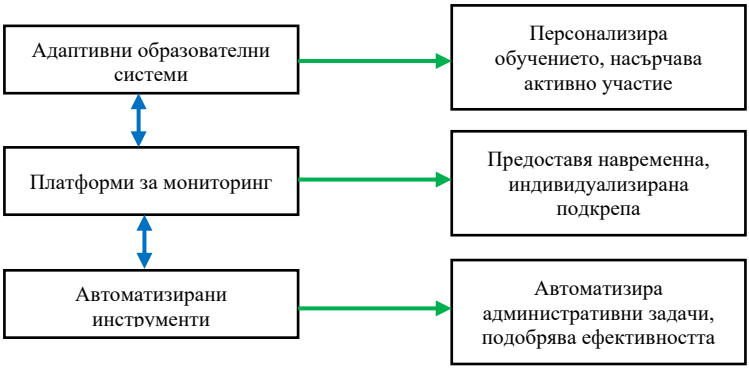
— ***Липса на дигитална и технологична компетентност***

Интегрирането на ИИ изисква нови умения от страна на специалистите, работещи в социалната и образователната сфера. Традиционната подготовка в тези дисциплини рядко включва обучение по дигитална грамотност, анализ на данни или разбиране на алгоритмични процеси. Това води до липса на увереност при използването на нови технологии, както и до риск от неправилна интерпретация или приложение на ИИ системите. Недостатъчната подготовка може да доведе до зависимост от технологиите, без разбиране на техните ограничения, което от своя страна създава предпоставки за грешки и неетични решения. Ето защо интеграцията на ИИ трябва да бъде съпроводена с целенасочено обучение, интердисциплинарно сътрудничество и създаване на нови образователни програми, съчетаващи технологии и хуманитарни науки. [9]

5. Добри практики и успешни примери при прилагане на изкуствен интелект в социално-педагогическата дейност

Внедряването на изкуствения интелект в социално-педагогическата практика вече носи конкретни резултати и примери, които могат да служат за модел и вдъхновение. Успешните приложения показват как технологиите могат да подпомогнат професионалистите и да подобрят качеството на услугите, като същевременно запазват хуманния подход. Този раздел разглежда конкретни

инициативи, системи и методи, доказали своята ефективност и приемливост в различни социални и педагогически контексти. Анализът на добрите практики помага да се идентифицират ключовите фактори за успех, както и препоръките за адаптиране и развитие на ИИ базирани решения в социалната сфера. Особено внимание се обръща на интеграцията на технологии с етичните стандарти, професионалната подготовка и активното участие на потребителите. По-долу са разгледани три основни направления на успешна практика. На фиг. 4 е показан ИИ в социално-педагогическата дейност.



Фиг. 4. *ИИ в социално-педагогическата дейност – от автоматизация до персонализация*

— ***Интелигентни платформи за мониторинг и подкрепа на уязвими групи***

В редица страни са създадени специализирани платформи, които чрез съчетание на данни и алгоритми предоставят навременна и индивидуализирана подкрепа за уязвими групи като деца в риск, бездомни, хора с увреждания или социално изключени. Тези системи позволяват проследяване на социалния статус, здравето и образователния напредък на лицата, като предоставят ранни предупреждения за нужда от интервенция. Пример за това са платформи, използвани в скандинавските държави, които интегрират информация от училища, здравни институции и социални служби, осигурявайки координирана подкрепа и избягване на пропуски в системата. Подобни решения позволяват на специалистите да планират по-добре ресурсите си и да реагират адекватно на специфичните нужди на всеки човек. [1], [10], [14]

— ***Интерактивни и адаптивни образователни системи***

В областта на социално-педагогическата дейност образователните технологии с интегриран ИИ се използват за персонализирано обучение и подкрепа на ученици и младежи с различни потребности. Интерактивни системи, които се адаптират спрямо напредъка и особеностите на всеки обучаем, позволяват да се изградят индивидуални учебни планове и да се насърчи активно участие. Тези системи са особено ценни при работа с деца със специални

образователни потребности или от социално уязвими среди, като им помагат да развият умения и увереност. Примерите включват дигитални платформи, които използват гласови и визуални интерфейси, а също така предоставят обратна връзка в реално време, подкрепяйки социалната интеграция и мотивацията.

— ***Автоматизирани инструменти за подкрепа на социалните работници***

Изкуственият интелект подпомага професионалистите в социалната сфера чрез инструменти за автоматизация на административни процеси, анализ на случаи и генериране на препоръки. Това дава възможност на социалните работници да отделят повече време за директна работа с клиентите и да повишат качеството на предоставяните услуги. Пример за такава практика е използването на системи, които автоматично обработват документи, класифицират случаи по степен на спешност или предлагат подходящи интервенции, базирани на натрупани данни и добри практики. Този подход не само намалява бюрократичната тежест, но и подобрява точността и последователността в работата на екипите.

6. Перспективи за бъдещето на ИИ в социално-педагогическата практика

Развитието на изкуствения интелект и интелигентните технологии ще продължи да оказва дълбоко въздействие върху начина, по който се организират, предоставят и оценяват социално-педагогическите услуги. Една от най-очакваните посоки е задълбочената персонализация на подходите към всеки клиент – било то дете, родител, уязвима група или образователен участник. Чрез интеграция на поведенчески анализ, биометрични данни и социално-културен контекст, бъдещите системи ще могат да създават изключително прецизни профили на нуждите, рисковете и възможностите на всеки индивид. Друга ключова перспектива е интердисциплинарната свързаност между различни звена на социалната система – училища, общини, здравни институции, неправителствени организации. ИИ може да бъде използван за изграждане на свързани платформи, в които обменът на информация е защитен, ефективен и полезен за вземане на интегрирани решения. Това ще позволи преминаване от „реактивна“ към проактивна и превантивна социална работа Очаква се също така навлизането на обясним (обясним/прозрачен) ИИ, който ще улесни доверието и приемането на технологиите в социално-педагогическата практика. Тези системи ще дават ясни обяснения защо е направено дадено предложение или заключение, като ще подкрепят социалните работници и педагозите, без да ги заменят. Не на последно място, бъдещето изисква засилено внимание върху етиката, сигурността и правата на човека. Въвеждането на ИИ в деликатни сфери като работата с деца, травмирани хора или хора с увреждания, ще налага създаване на нови регулации и професионални стандарти, основани на дигиталната справедливост, достъпността и хуманността. С други думи, бъдещето на социално-педагогическата практика с ИИ ще бъде такова, каквото професионалистите решат да го изградят – балансирано между технологичен напредък и човешка съпричастност. [2], [6], [9]

7. Подготовка и обучение на специалистите за работа с изкуствен интелект

Интеграцията на изкуствен интелект (ИИ) в социално-педагогическата практика поставя на преден план въпроса за подготовката и квалификацията на специалистите, работещи в тази област. Професионалистите – социални работници, педагози, психолози и образователни медиатори – все по-често се сблъскват с дигитални инструменти, платформи и алгоритми, които променят начина, по който взаимодействат с уязвими групи, планират интервенции и анализират социални процеси. Образователната и професионалната подготовка следва да се адаптира към тези трансформации. Необходима е разработка на интердисциплинарни обучителни програми, които съчетават знания от сферата на социалната работа и педагогиката с основи на информационните технологии, данни и ИИ. Съществен аспект на подготовката е и изграждането на критично мислене, необходимо за разпознаване на потенциални рискове, дискриминационни алгоритми или неподходяща автоматизация на човешки процеси. Това поставя изискване към висшите училища и обучителните институции да въведат нови образователни модули, включващи теми като „ИИ в социалните и образователни услуги“, „Етика на алгоритмите“ и „Дигитална грамотност за социални професии“. Също така е необходимо продължаващо професионално развитие – чрез семинари, работилници и сертификационни курсове, които позволяват на вече практикуващи специалисти да бъдат в крак с технологичните иновации. На фиг. 5 е показана схема на интегриране на ИИ в социално-педагогическата практика. [7], [12], [16]



Фиг. 5. *Интегриране на ИИ в социално-педагогическата практика*

<u>Казус:</u> ***Недостатъчна подготовка на социални работници за използване на ИИ в работа с деца в риск.***

Описание на ситуацията:

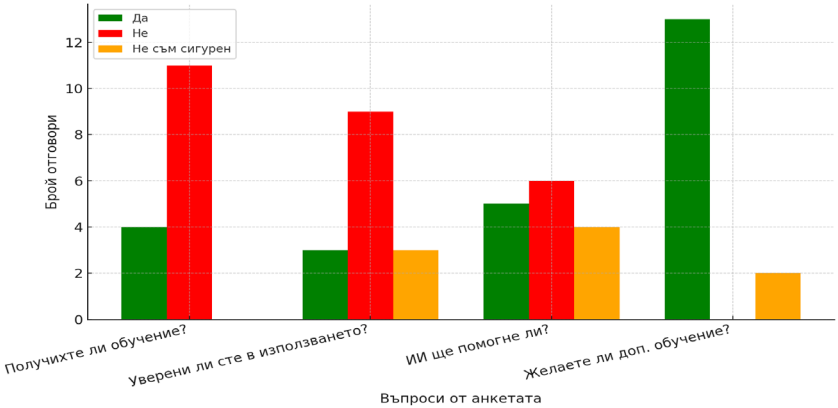
Общински център за социална подкрепа в средноголям български град внедрява нов софтуер с елементи на изкуствен интелект за анализ на рискови фактори при деца в уязвими семейства. Системата използва алгоритъм за прогнозиране на вероятността от отпадане от училище, насилие или пренебрегване, базирана на данни от социални досиета, посещаемост в училище и здравен статус. Въпреки внедряването, повечето социални работници продължават да работят по стари методи и не използват системата ефективно, тъй като:

- Не разбират как функционира алгоритъмът;
- Нямат достатъчна компютърна грамотност;
- Изпитват недоверие към автоматизираните анализи.

Таблица 3 и фиг. 6 показват резултатите от решения казус.

Таблица 3. *Резултати от вътрешно проучване сред 15 социални работници*

Въпрос от анкетата	Да	Не	Не съм сигурен
Получихте ли обучение за работа с новата система?	4	11	0
Уверени ли сте в използването на ИИ софтуера?	3	9	3
Смятате ли, че ИИ може да подпомогне работата ви?	5	6	4
Желаете ли допълнително обучение?	13	0	2



Фиг. 6. *Резултати от анкета сред социални работници*

Решение и предложения:

1. Провеждане на целево обучение, съобразено с реалното ниво на дигитална компетентност на служителите. То трябва да включва:
   - *Основи на ИИ и неговото приложение в социалната работа;*

- *Практическо използване на конкретния софтуер чрез симулирани казуси;*

2. Разглеждане на случаи, при които ИИ допринася за предотвратяване на рискове.

3. Назначаване на вътрешен координатор или дигитален ментор – служител, който е преминал задълбочено обучение и подпомага колегите в реално време при използване на системата.

4. Периодична оценка на компетенциите – чрез кратки тестове или практически задачи, за да се проследява напредъкът и нуждата от надграждащо обучение.

5. Обратна връзка от екипа – организиране на ежемесечни срещи, на които служителите споделят предизвикателства и успехи, свързани с употребата на ИИ.

6. Стимулиране на участието – чрез сертификати, вътрешни награди или възможности за участие в конференции/семинари.

8. Заключение

Изкуственият интелект и интелигентните системи предлагат безпрецедентни възможности за трансформация на социално-педагогическата практика. Те могат да подобрят ефективността, навременността и персонализацията на подкрепата, да облекчат административната тежест върху специалистите и да създадат нови механизми за оценка и прогнозиране. ИИ има потенциала да се превърне в надежден партньор на социалните работници, педагогическите съветници, психолозите и образователните медиатори. Въпреки това, технологичният напредък не трябва да бъде самоцел. Основната цел на социално-педагогическата дейност остава човекът – неговото достойнство, развитие, включване и благополучие. В този смисъл, ИИ трябва да бъде използван не като заместител, а като разширение на човешкия капацитет – средство за повишаване на качеството на работата, без да се жертват основните етични принципи на професията. За да бъде успешна интеграцията на ИИ в социалната и педагогическата сфера, е необходимо съчетание от технологична грамотност, институционална подкрепа, професионална етика и обществено доверие. Това означава инвестиции не само в технологии, но и в хората, които ги използват.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Araujo T., Helberger N., Kruikemeier S., de Vreese C., In AI We Trust? Perceptions about automated decision-making by artificial intelligence, 2020, AI & Society, Vol. 35, No. 3, pp. 611–623, DOI: 10.1007/s00146-019-00930-x.

[2] Bojadjieva P., Artificial Intelligence in Education – Ethical and Social Perspectives, 2021, Pedagogy, Vol. 93, No. 6, ISSN 1314-8540, pp. 738–750.

[3] Dignum V., Responsible Artificial Intelligence: How to Develop and Use AI in a Responsible Way, 2019, Springer Nature, ISBN 978-3-030-30371-6, DOI: 10.1007/978-3-030-30371-6.

[4] European Commission, Ethics Guidelines for Trustworthy AI, 2021, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Brussels, достъпно на: https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation.

[5] Floridi L., Cowls J., Beltrametti M., Chatila R., Chazerand P., Dignum V., Vayena E., AI4People – An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations, 2018, Minds and Machines, Vol. 28, No. 4, pp. 689–707, DOI: 10.1007/s11023-018-9482-5.

[6] Stefanova G., Ethical challenges in using artificial intelligence in social work, 2020, Annual of the Faculty of Pedagogy – SU, Vol. 113, Part 1, ISSN 1312-391X, pp. 55–68.

[7] Todrova R., Digitalization of social services in Bulgaria: opportunities and risks, 2022, Social policy and social work, Vol. 5, No. 2, ISSN 2535-0557, pp. 33–46.

[8] UNESCO, Artificial Intelligence and Education: Guidance for Policy-makers, 2021, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, ISBN 978-92-3-100447-6.

[9] United Nations – OHCHR, Social Protection and Human Rights in the Age of Artificial Intelligence, 2021, UN Human Rights Office, достъпно на: https://www.ohchr.org.

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

[11] Veselka Stoyanova, Zh. Tasheva, Research of the characteristics of a steganography algorithm based on LSB method of embedding information in images, III International Scientific and Technical C onference „Technics. Technologies. Education. Safety.", Veliko Tarnovo, 28-29 May 2015, pp. 56-59, ISSN: 1310-3946.

[12] Атанасов В. Един подход за подпомагане разработването на web приложения чрез когнитивна машина, Годишник на Шуменския университет "Епископ Константин Преславски", Издателство "Епископ Константин Преславски", Том XIV Е, 2024, ISSN: 1314-8818.

[13] Konstantinova E., Tsankov Ts. An overview of sustainable urbanism with the help of Artificial Intelligence. Proceedings of the Ninth student scientific conference "Ecology and environment", 2021, ISSN 2367-5209, pp. 109-121.

[14] 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.

[15] Ivanov V. Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; International Scientific Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems – CIEES 2021, AIP Conf. Proc. 2570, 030010-1–030010-8, ISBN: 978-0-7354-4375-4.

[16] Stoyanov A., Kazakov S., Kodzheykova V. Algorithm of operational risk assessment of Bulgarian posts PLC. Journal scientific and applied research, USA, EBSCO, Volume 23, 2022, pp. 105-113, ISSN 1314-6289.

ОБЛАЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОТОЧНО ВИДЕО НАБЛЮДЕНИЕ В ИНДУСТРИАЛНИ СИСТЕМИ

Емили К. Димитрова, Даниел Р. Денев

CLOUD SOLUTIONS FOR STREAMING VIDEO SURVEILLANCE IN INDUSTRIAL SYSTEMS

Emili K. Dimitrova, Daniel R. Denev

ABSTRACT: *With the development of cloud technologies and increasing security requirements, industrial enterprises are increasingly integrating cloud solutions for video surveillance. The report examines the architecture, advantages and challenges of cloud video systems (Cloud Video Surveillance – CVS) in the context of industrial environments. Technical aspects such as latency, security, scalability and costs are analyzed, as well as the application of artificial intelligence for automated processing of video streams. Cloud video surveillance systems offer a number of functionalities that far exceed the capabilities of traditional CCTV systems – including the possibility of remote access, centralized management of multiple locations, as well as automated processing of video data in real time. This is especially valuable in the industrial sector, where reliability, control and scalability are critical for efficient operation and security. In addition to the technical aspects, the report also addresses the strategic benefits of migrating to cloud platforms – such as cost optimization, flexible resource management and increased operational transparency. The ability to integrate artificial intelligence and machine learning transforms video surveillance from a passive recording system to an active tool for analysis and prevention. The findings highlight the growing need for industrial systems to move to a cloud architecture, while also considering security and reliability risks.*

KEYWORDS: *Cloud video surveillance, Industrial systems, Cybersecurity, Streaming video, Centralized management, Artificial intelligence*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25EDD

1. Въведение

Индустриалният сектор преминава през период на ускорена дигитализация, известен още като Индустрия 4.0, където автоматизацията и свързаността на процесите са ключови фактори за конкурентоспособността. В този контекст ролята на видео наблюдението като средство за контрол, сигурност и оптимизация на операциите нараства значително. Докато традиционните решения разчитат предимно на локални сървъри и аналогови системи, облачните технологии предлагат нова гъвкавост и възможности за развитие. Облачните

решения за поточно видео наблюдение позволяват не само запис и наблюдение на видео в реално време, но също така и анализ, автоматично откриване на събития и интеграция с други индустриални системи. Те осигуряват централизирано управление и съхранение на данни, което е особено полезно за компании с множество обекти, разположени в различни географски точки. Това значително улеснява оперативния контрол и позволява стандартизация на политиките за сигурност. На фиг. 1 е показана обща представа на облачна структура за видео наблюдение.



Фиг. 1. *Обща представа на облачна структура за видео наблюдение*

Настоящата статия има за цел да анализира какво представляват облачните решения за видеонаблюдение в индустриален контекст, как се изграждат тези системи, какви ползи носят и какви са рисковете при тяхното внедряване. Ще бъдат разгледани различни архитектурни подходи, технически предизвикателства и практическото приложение на съвременни технологии като edge computing и изкуствен интелект в управлението на видеопотоци. [2]

2. Архитектура на облачното видеонаблюдение

Системите за облачно видеонаблюдение представляват технологично решение, при което видеоданните се събират, обработват, съхраняват и управляват чрез инфраструктура, разположена извън пределите на наблюдаваната индустриална среда – обикновено в центрове за данни, собственост на външни доставчици. За разлика от класическите системи, които изискват локални сървъри, записващи устройства (NVR/DVR) и физическа инфраструктура, облачните решения позволяват по-гъвкаво, мащабируемо и централизирано управление на видеопотоци. Изграждането на такава система изисква внимателен подбор на хардуерни и софтуерни компоненти, способни да поддържат постоянна връзка с облачната платформа, осигурявайки надежден пренос на видеоданни и необходимата сигурност. Архитектурата включва няколко ключови елемента – от устройствата на крайно ниво (IP камери), през междинни звена (edge устройства и шлюзове), до облачния сървърен слой и потребителските интерфейси за наблюдение и управление.

— ***Компоненти на системата***

Инфраструктурата на облачната система за видеонаблюдение се състои от няколко взаимосвързани слоя. Всеки компонент в тази структура има своя

специфична роля – от улавяне и предаване на видео, през локално филтриране и предварителна обработка, до дългосрочно съхранение и централизирано управление. Правилната координация между тези елементи е ключова за постигане на висока производителност, ниска латентност и надеждност на системата. В индустриални среди архитектурата трябва да отчита и условията на средата – температури, прах, вибрации и нужда от непрекъсната работа. Затова се използват специализирани устройства с повишена устойчивост, които могат да функционират в труднодостъпни или опасни зони, като същевременно поддържат връзка с облачната инфраструктура.

- *Камери (IP-базирани)*

IP камерите са основен източник на видеоданни. Те могат да предават видеопоток директно по интернет протокол към облачната платформа, без нужда от локален сървър. Висококачествените камери поддържат резолюции до 4K, но също така предлагат интелигентни функции като движение детекция, IR нощно виждане и компресия (H.264/H.265). Тези камери често са снабдени със софтуер за базова обработка, което позволява намаляване на трафика към облака чрез локално филтриране на незначими кадри. Те поддържат комуникация през сигурни протоколи (SSL/TLS), за да се избегне неоторизиран достъп.

- *Локални гейтуеи / edge устройства*

Edge устройствата функционират като междинни звена между камерите и облака. Те събират видео от няколко камери, обработват го предварително (например чрез локален ИИ анализ), и го препращат към облака, често в компресиран или селектиран вид. Edge изчисленията намаляват необходимостта от висока пропускателна способност на мрежата и минимизират латентността при критични приложения, като разпознаване на инциденти в реално време. Те често са базирани на индустриални микрокомпютри или вградени системи с висока устойчивост.

- *Облачна платформа*

Облачната платформа е сърцевината на цялата система. Тя приема видеопотоците, съхранява ги сигурно, позволява достъп в реално време и осигурява възможности за разширен видеоанализ чрез изкуствен интелект и машинно обучение. Водещи доставчици като AWS, Azure и Google Cloud предлагат специализирани услуги за видеонаблюдение. Платформата осигурява шифроване на данните, контрол на достъпа, мащабируемост и възможност за интеграция с други индустриални или IoT системи. Освен това, чрез облака могат да се реализират резервни копия, алармени системи и уведомления в реално време.

- *Клиентски интерфейси*

Интерфейсите за крайния потребител са обикновено уеб-базирани или мобилни приложения, чрез които се осъществява мониторинг, преглед на архиви, управление на камери и анализи. Те поддържат опции за множество потребители, различни нива на достъп и алармени известия. Тези интерфейси често предлагат визуализации в реално време, графични табла с инциденти, както и възможност за настройка на видеоанализи – напр. разпознаване на обекти, броене на хора, засичане на зона за сигурност и др.

— ***Модели на внедряване***

Начинът, по който се внедрява една облачна система за видеонаблюдение, зависи от нуждите на предприятието, нивото на чувствителност на видеоданните и съществуващата IT инфраструктура. Изборът на модел за внедряване е стратегическо решение, което трябва да съчетае оперативна ефективност, сигурност и разходна оптимизация. Съществуват три основни модела: публичен, частен и хибриден облак. Всеки от тях има своите предимства и ограничения в контекста на индустриалните изисквания.

○ *Публичен облак (напр. AWS, Azure, Google Cloud)*

Публичният облак предоставя готова инфраструктура, която се управлява от външен доставчик. Това улеснява стартирането на системата, намалява нуждата от локален хардуер и позволява бърза мащабируемост. Предимствата включват по-ниски начални инвестиции и лесен достъп до усъвършенствани услуги като ИИ анализ. Недостатък може да бъде зависимостта от интернет връзка и потенциални опасения за поверителността на данните, особено при силно регулирани индустрии. Някои фирми предпочитат криптиране с ключове, управлявани локално, за да подсилят сигурността.

○ *Частен облак (on-premises облачна инфраструктура*)

Частният облак се изгражда вътре в организацията, използвайки собствени сървъри и мрежова инфраструктура. Това позволява пълен контрол върху данните, висока степен на персонализация и по-добра интеграция със съществуващи индустриални системи и стандарти за сигурност. Този модел изисква сериозна първоначална инвестиция, както и екип от специалисти, които да поддържат системата. Подходящ е за предприятия със строги изисквания за сигурност, минимална толерантност към външен риск и стабилна IT инфраструктура.

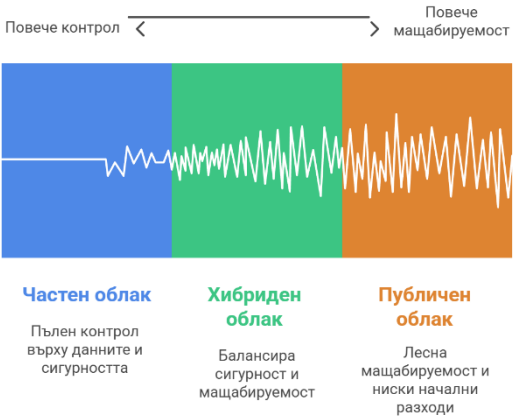
○ *Хибриден модел*

Хибридният модел комбинира предимствата на публичния и частния облак. Част от видеопотоците и метаданните могат да се съхраняват локално, докато други функции – като ИИ анализ или архивиране – се извършват в публичната облачна среда. Това дава възможност за оптимален баланс между сигурност, разходи и производителност. Хибридните решения позволяват гъвкава адаптация към различни сценарии – например, предаване на видео от критични зони да се съхранява локално, докато общите камери използват публичен облак. На фиг. 2 са показани модели на облачно внедряване.

3. Предимства на облачните решения

Облачните решения за поточно видеонаблюдение предлагат значителни предимства спрямо традиционните локални системи, особено в индустриален контекст. Гъвкавостта, която идва от преминаването към облачна инфраструктура, позволява на предприятията да адаптират своите системи според нуждите на продукцията, логистиката, сигурността и управлението на ресурсите. Това води до по-добро използване на наличната инфраструктура и повишаване на оперативната ефективност. Основните предимства включват мащабируемост, централизирано управление, по-ниски начални разходи, по-

лесен достъп до видеоданни и възможност за интегриране на съвременни технологии като изкуствен интелект. Благодарение на тези характеристики, облачните системи се превръщат в предпочитан избор за индустриални предприятия, които искат да модернизират процесите си и да реагират проактивно на възникващи рискове. [1]



Фиг. 2. *Модели на внедряване на облачно видеонаблюдение, балансиращи контрол и мащабируемост*

— ***Мащабируемост***

Едно от основните предимства на облачните системи е възможността за лесно мащабиране – както по отношение на броя на камерите, така и на обхвата на наблюдаваните обекти. Разширяването на системата не изисква значителни инвестиции в нова физическа инфраструктура, тъй като облачната платформа може автоматично да поеме допълнителния трафик и изчислителен товар. Това е особено полезно за компании с множество производствени или логистични обекти, разположени в различни географски райони. Добавянето на нови камери или зони към системата може да стане бързо и дистанционно, без необходимост от специализирани екипи на място.

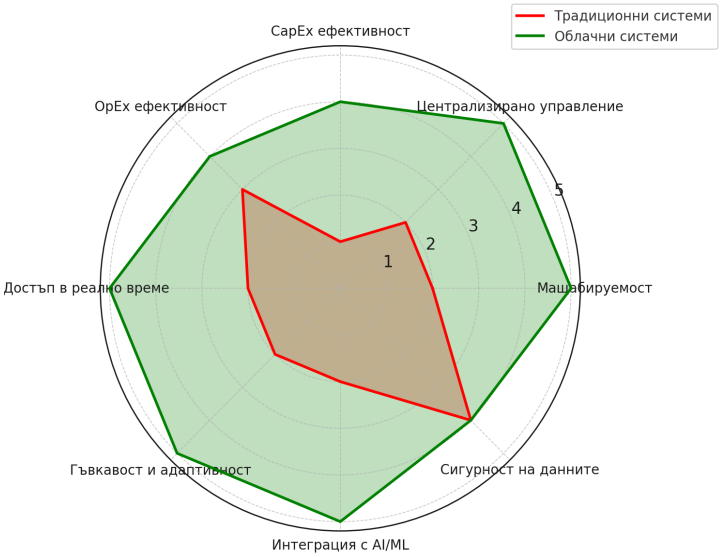
— ***Централизирано управление***

Централизираното управление позволява на организациите да следят в реално време всички наблюдавани зони от едно място. Това включва не само видео потоците, но и контрол върху конфигурации, алармени събития и потребителски права. Така се постига по-висока оперативна съгласуваност и намалява рискът от човешки грешки. В индустриален контекст това означава по-добър контрол върху производствения процес, навременна реакция при инциденти и ефективно управление на персонала. Мениджърите и операторите могат да получават известия, анализи и видео доказателства, без да напускат контролния център или дори когато са извън обекта. На таблица 1 и фиг. 3 е

направено количествено сравнение на предимствата на облачни спрямо традиционни видеонаблюдателни системи.

Таблица 1. *Количествено сравнение на предимствата на облачни спрямо традиционни видеонаблюдателни системи*

Критерий	Традиционни системи	Облачни системи	Обяснение
Мащабируемост	2	5	Облачните системи позволяват бързо добавяне на нови устройства без хардуерни разходи.
Централизирано управление	2	5	При облачни решения цялото управление е на едно място, включително аларми и настройки.
Разходна ефективност (CapEx)	1	4	Облачните решения не изискват скъпи първоначални инвестиции.
Разходна ефективност (OpEx)	3	4	Платформата се поддържа от доставчика, което намалява разходите за поддръжка.
Достъп в реално време	2	5	Облачните решения позволяват достъп от всяко устройство с интернет.
Гъвкавост и адаптивност	2	5	Лесно адаптиране към нуждите на различни индустриални обекти.
Интеграция с ИИ/МО	2	5	Облачните платформи лесно поддържат автоматичен видеоанализ и разпознаване.
Сигурност на данните	4	4	И двата типа системи могат да предложат висока сигурност при правилна конфигурация.



Фиг. 3. *Сравнителна съпоставка между традиционни и облачни системи*

— ***Разходна ефективност***

Облачните решения предлагат икономии както по отношение на първоначалната инвестиция (CapEx), така и на текущите оперативни разходи (OpEx). Отпада нуждата от скъпо локално оборудване като сървъри и видео записвачи, а поддръжката на инфраструктурата се поема от облачния доставчик. Потребителят плаща само за използваните ресурси, което прави разходите предвидими и по-гъвкави. Освен това, намалява се нуждата от IT персонал за локална поддръжка, тъй като системите се обновяват автоматично чрез платформата на доставчика. [3]

— ***Достъп в реално време***

Облачните системи осигуряват възможност за наблюдение и анализ на видеопотоци в реално време от всяко устройство с интернет връзка. Това е изключително важно за индустриални обекти, в които бързата реакция на критични ситуации може да предотврати сериозни щети или да спаси човешки живот. Достъпът до видеоархиви и инциденти се осъществява чрез защитени уеб портали или мобилни приложения, като това улеснява управлението на сигурността дори в движение. Освен това, в реално време могат да се задействат аларми, автоматични известия и записи при откриване на нередности.

— ***Интеграция с ИИ/МО***

Изкуственият интелект и машинното обучение са ключови технологии, които могат да бъдат директно интегрирани в облачната платформа за видеонаблюдение. Това позволява автоматично разпознаване на обекти, лица,

номера на автомобили, както и засичане на нетипично поведение или инциденти. В индустриални условия това се прилага успешно за автоматизирано наблюдение на производствени линии, контрол на безопасността, откриване на изтичания, пожари или човешки грешки. Благодарение на ИИ анализите, видеонаблюдението се трансформира от пасивен запис в активен инструмент за оптимизация и превенция. [5]

4. Предизвикателства и недостатъци

Въпреки множеството предимства, облачните решения за видеонаблюдение не са лишени от технически, организационни и правни предизвикателства. Внедряването им в индустриална среда изисква внимателен анализ на рисковете, за да се гарантира надеждност, сигурност и съответствие със стандартите. Някои от тези предизвикателства произтичат от самата природа на облачната архитектура, докато други се отнасят до специфични изисквания на индустрията, като нуждата от постоянен контрол и ниска латентност. Решаването на тези проблеми изисква добре планирано взаимодействие между локалните и облачните компоненти, както и политики за сигурност, мрежова инфраструктура с висока надеждност и обучение на персонала. В следващите подточки са разгледани основните ограничения, които трябва да се вземат предвид при планиране и внедряване на такава система.

— ***Латентност и надеждност на мрежата***

Видеонаблюдението в реално време е чувствително към закъснения в преноса на данни (латентност), особено когато данните трябва да пътуват от отдалечена индустриална локация до облака и обратно. В индустриални сценарии това може да доведе до забавено реагиране при инциденти, особено когато се разчита на автоматизирани алармени системи или дистанционен контрол. Мрежовата свързаност трябва да е стабилна, с гарантирана пропускателна способност и ниска латентност, за да може системата да функционира ефективно. В случай на прекъсване на интернет връзката, се препоръчва използването на локални буфери или edge устройства, които временно съхраняват видеото до възстановяване на връзката.

— ***Сигурност и поверителност***

Преносът и съхранението на чувствителни видеоданни в облака поражда редица опасения относно киберсигурността и поверителността на информацията. Индустриалните обекти често съдържат критична инфраструктура, чието видеонаблюдение може да представлява обект на индустриален шпионаж или хакерски атаки. За да се гарантира защита, е необходимо използването на криптирани връзки (напр. TLS), двуфакторна автентикация за достъп, както и политики за управление на достъпа по роли. Съответствието със закони и регулации като GDPR или национални стандарти за защита на данните е задължително при съхранение на видео в облака.

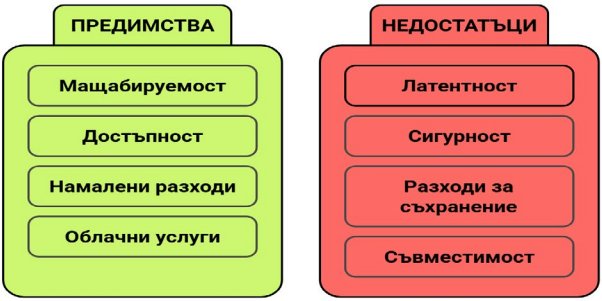
— ***Разходи при дългосрочно съхранение***

Макар че облачните решения намаляват началните инвестиции, те могат да генерират значителни оперативни разходи при дългосрочно съхранение на

видеоданни с висока резолюция. За индустрии със задължително архивиране за период от месеци или години, облачното съхранение може да стане икономически неефективно. Затова често се използват стратегии като съхранение на по-ниска резолюция след определен период, изтриване на незначителни записи или преминаване към т.нар. cold storage. Възможно е и комбиниране с локални носители (NAS, edge storage) за оптимизация на разходите. [4], [9]

— ***Съвместимост с наследени системи***

Много индустриални обекти използват остарели видеосистеми, базирани на аналогови камери и NVR устройства, които не поддържат директна интеграция с облачни платформи. Миграцията към облачни решения често изисква допълнителни инвестиции в съвместими устройства или адаптерни технологии. В такива случаи може да се използва хибридна архитектура, при която аналоговите камери се свързват с мрежови видео енкодери, които ги превръщат в IP източници. Това позволява плавен преход към облачната система, без пълна подмяна на съществуващото оборудване. На фиг. 4 е направена съпоставка между предимства и недостатъци.



Фиг. 4. *Съпоставка между предимства и недостатъци*

5. Приложение на изкуствен интелект

Интегрирането на изкуствен интелект (ИИ) и машинно обучение в системите за видеонаблюдение отваря нови възможности за автоматизация, предиктивен анализ и оперативна ефективност. Благодарение на облачната инфраструктура, тези алгоритми могат да обработват огромни обеми видеоданни в реално време или ретроспективно, с цел откриване на аномалии, проследяване на обекти и разпознаване на специфични събития. Приложението на ИИ позволява на системата да функционира проактивно – не просто да записва събития, а да взема решения и да уведомява операторите за потенциални инциденти.

— ***Автоматично засичане на опасни ситуации***

ИИ алгоритмите могат да бъдат обучени да разпознават специфични инциденти – например падане на работник, неправилно поведение, навлизане в опасна зона или наличие на дим/пламък. Тези събития се откриват с висока точност и се маркират автоматично във видеопотока, като се генерират аларми в

реално време. Подобна функционалност е особено полезна в среди с повишен риск – химически заводи, минна индустрия, електроцентрали и др. Така се намалява времето за реакция и се минимизира рискът за човешкия живот и материални щети.

— ***Анализ на производителност и човешка активност***

Чрез компютърно зрение системата може да следи работната активност на служителите – например време, прекарано в конкретни зони, взаимодействие с оборудване или степен на натовареност на определени работни станции. Това помага за оптимизиране на ресурсите и подобряване на ефективността. Тези анализи могат да бъдат използвани и за обучителни цели – откриване на добри практики, сравнение между екипи, или засичане на повтарящи се грешки, които водят до отклонения в производствения процес. [7], [11]

— ***Прогнозна поддръжка чрез видеонаблюдение***

Изкуственият интелект може да открива ранни признаци на повреди по машини чрез визуални индикатори – например изтичане на течност, неестествени вибрации, деформация на елементи. Комбинирането на видеоданни с IoT сензори засилва способността за прогнозна диагностика. Така предприятията могат да реагират още преди възникване на реален проблем, спестявайки време и средства от извънредни ремонти или спиране на производството. Видеоанализът се превръща в ефективен компонент от системата за управление на поддръжката. На фиг. 5 е показано приложение на ИИ във видеонаблюдението.



Фиг. 5. *Приложения на ИИ във видеонаблюдението*

6. Практически приложения

Облачните решения за поточно видеонаблюдение намират широко приложение в различни индустриални сектори. Те подпомагат както ежедневния

контрол и сигурност, така и оптимизацията на производствените процеси и поддръжката. Благодарение на интеграцията с модерни технологии и лесния достъп до данни в реално време, предприятията могат да повишат своята ефективност и да намалят рисковете. Тези приложения не се ограничават само до наблюдение на физически пространства, а се разпростират и върху анализа на поведението на служителите, мониторинга на оборудването и спазването на нормативните изисквания. Следващите подточки разглеждат конкретни примери и области, където облачните видеосистеми имат ключово значение. [6]

— ***Контрол на сигурността***

В индустриалните обекти, където съхранението на ценни материали и чувствителна информация е от съществено значение, видеонаблюдението служи като основен инструмент за предотвратяване на кражби, саботажи и нерегламентиран достъп. Облачната платформа позволява централизирано наблюдение на множество локации и бърза реакция при засичане на подозрителни действия. Освен това, системите могат да интегрират биометрични и други модерни средства за идентификация, което повишава нивото на контрол и проследимост. Автоматичните известия позволяват да се вземат навременни мерки и да се минимизират щетите.

— ***Мониторинг на производствени процеси***

Поточното видеонаблюдение в облака предоставя възможност за непрекъснат контрол на технологичните линии, което подпомага идентифицирането на неефективности и дефекти. Анализът на видеоданни позволява откриването на отклонения от нормалната работа и бързата корекция на проблемите. Тази практика повишава производителността, намалява загубите и осигурява спазването на стандарти за качество. Освен това, видеонаблюдението подпомага обучението на персонала, като предоставя реални примери и обратна връзка. [8], [10]

— ***Управление на активи и поддръжка***

Системите за видеонаблюдение в облака могат да се използват за следене на състоянието на машини и съоръжения, като допълнителен източник на информация за поддръжка. Комбинирайки видеоаналитика с данни от сензори, се създават по-точни и навременни прогнози за необходимостта от ремонт или профилактика. Това намалява риска от непланирани спирания и удължава живота на оборудването. Освен това, видеото служи като доказателство при технически прегледи и контрол на качеството. Таблица 2 показва Практически приложения на облачните видеосистеми.

7. Заключение

Технологиите за облачно видеонаблюдение се развиват динамично, като непрекъснато се внедряват иновации, които разширяват възможностите и подобряват функционалността. Тези тенденции ще продължат да променят начина, по който индустриалните предприятия управляват сигурността и оперативната си ефективност. Освен увеличаването на изчислителната мощност и скоростта на мрежите, се очаква по-дълбока интеграция с IoT устройства,

разширено използване на изкуствен интелект и нови модели за разпределено съхранение и анализ на данните. В следващите подточки са разгледани основните перспективи и предизвикателства за бъдещето.

Таблица 2. *Практически приложения на облачните видеосистеми в индустриални среди*

Област на приложение	Основен показател	Стойност / Описание	Оценка (1–5)
Контрол на сигурността	Реакция при инцидент (време, в минути)	< 1 минута при автоматични известия	5
	Покритие на зони	95–100% с централизирано наблюдение	5
	Ниво на интеграция (биометрия, карти и др.)	Високо	5
Мониторинг на процеси	Идентифицирани дефекти месечно	До 80% автоматично засичане чрез ИИ анализ	4
	Повишена производителност (%)	+10–15% при активно видеонаблюдение	4
	Видео за обучение	Да (записи на реални случаи)	5
Управление на активи и поддръжка	Прогнозна поддръжка (точност)	85–90% при комбинирани данни (видео + сензори)	4
	Намаление на непланирани спирания	До –30% чрез ранно откриване на проблеми	4
	Удължен живот на оборудване	Средно +20%	4

С нарастването на нуждата от обработка на данни в реално време и намаляване на латентността, edge computing се превръща в ключова тенденция. Това означава, че част от видеоданните се обработват локално на периферни устройства близо до камерите, преди да бъдат изпратени в облака. Хибридните архитектури съчетават предимствата на локалната и облачната инфраструктура, позволявайки по-голяма гъвкавост и надеждност. Такива системи са особено полезни в отдалечени или мрежово нестабилни индустриални зони.

Изкуственият интелект ще продължи да се развива и интегрира в облачните видеосистеми, като предлага все по-усъвършенствани функции за разпознаване на обекти, поведение и аномалии. Автоматизацията ще позволи на системите да вземат решения и да изпълняват действия без човешка намеса. Това ще подобри сигурността и ефективността, като същевременно намали разходите

за управление и наблюдение. Разработването на нови алгоритми ще улесни персонализацията и адаптирането към специфичните нужди на различни индустриални отрасли.

В бъдеще облачните видеонаблюдателни системи ще бъдат все по-силно свързани с други индустриални технологии, като сензори за околна среда, машини, роботи и ERP системи. Това ще създаде цялостна мрежа за управление и мониторинг, която оптимизира процесите и намалява риска от грешки. Интеграцията ще даде възможност за по-добра координация между различните системи, предоставяйки богата информация в реално време и анализи, които ще подпомагат вземането на информирани решения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Amazon Web Services, AWS for Video Surveillance, 2023, Whitepaper.

[2] Cisco Systems, Video Surveillance over IP Networks, 2022, Technical Report.

[3] Denev D., Tsankov Ts., Use in Internet of Protocols Transport Layer Security and its Now-deprecated Predecessor Secure Sockets Layer, 2018, Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. VIII E, ISSN 1311-834X, pp. 94–101.

[4] ENISA, Security Guidelines for Cloud Services in the Industrial Sector, 2021, European Union Agency for Cybersecurity, Technical Report.

[5] Kumar R., Singh A., Intelligent Cloud Surveillance System Using Deep Learning, 2020, International Journal of Computer Applications, Vol. 176(26), ISSN 0975-8887, pp. 1–6.

[6] Lee J., Kang H., Edge-AI for Real-Time Industrial Video Surveillance, 2022, IEEE Access, Vol. 10, ISSN 2169-3536, pp. 45610–45622.

[7] Petrov P., Ivanova M., Application of Hybrid Cloud Systems for Industrial IoT Monitoring, 2021, Proceedings of the International Conference on Information Technologies, Vol. 12, ISSN 1314-4091, pp. 75–82.

[8] Kodzheykova V., Y. Yankova-Yordanova. Methodology for logistics system management in medium serial production. Journal scientific and applied research, USA, EBSCO, 2019, pp. 32-42, ISSN 1314-6289.

[9] Zhang L., Wang Y., Chen X., Cloud-based Video Surveillance for Smart Manufacturing, 2021, Journal of Industrial Informatics, Vol. 17(2), ISSN 1551-3203, pp. 210–22.

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

[11] Цанков Ц. С. Приложения на нелинейните функции за защита на информацията в комуникационните системи. Университетско издателство „Епископ К. Преславски", Шумен, 2018, 204 с., ISBN 978-619-201-212-0.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОГРАМИРУЕМИ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ В РЕАЛНО ВРЕМЕННИ ИНДУСТРИАЛНИ АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ

Здравко А. Здравков, Емили К. Димитрова

APPLICATION OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS IN REAL-TIME INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS

Zdravko A. Zdravkov, Emili K. Dimitrova

ABSTRACT: *This report examines current trends and principles in industrial automation, with a particular focus on Programmable Logic Controllers (PLCs) and their operation within real-time control systems. The fundamental principles of PLC operation are presented, including the execution (scan) cycle, as well as their key characteristics–predictability, reliability, and high response speed. The report distinguishes between hard real-time and soft real-time systems, emphasizing their differences and respective areas of industrial application. It also analyzes communication architectures and industrial network protocols such as Profinet, EtherCAT, and OPC UA. Special attention is given to modern innovations, including the integration of edge computing, virtual PLCs (vPLCs), artificial intelligence (AI), and the Industrial Internet of Things (IIoT), which significantly enhance the efficiency and flexibility of automated systems. The report also addresses key challenges such as cybersecurity, the shortage of qualified professionals, and the need for standardization. In conclusion, it is emphasized that PLC systems remain a cornerstone of modern industrial automation, and their future development will be closely linked to the implementation of intelligent technologies, real-time analytics, and autonomous control of manufacturing processes.*

KEYWORDS: *Profinet, EtherCAT, IoT, Programmable Logic Controllers, Cybersecurity*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25ZZE

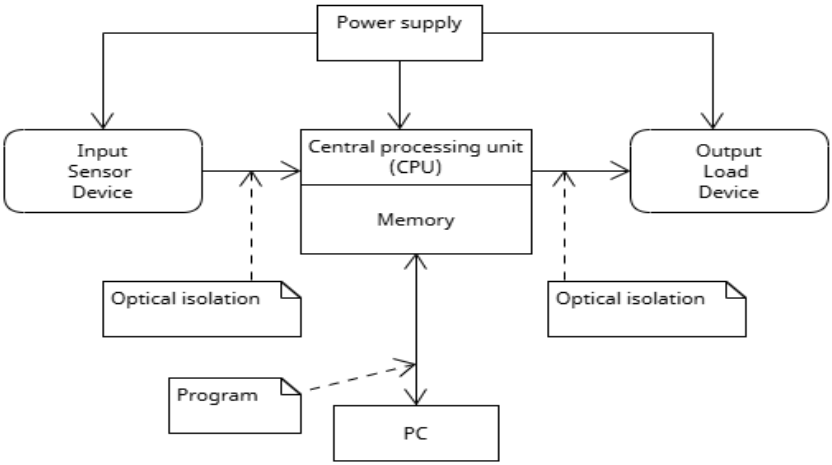
1. Въведение

Индустриалната автоматизация включва използването на съвременни технологии за управление и контрол, с цел замяна на ръчните процеси с автоматизирани системи. Основната цел на тази трансформация е да се подобрят продуктивността, устойчивостта, качеството и безопасността в производствените среди. Programmable Logic Controllers са основен елемент в много автоматизирани системи, които осигуряват възможност за управление на машини и процеси в реално време. Програмируемият логически контролер е специализирано устройство, базирано на микропроцесор, което се използва за

автоматизиране на процеси в реално време. Неговата основна задача е да получава входни сигнали от различни устройства като (сензори, ключове, енкодери), да ги обработва въз основа на предварително зададена програма, и в резултат да контролира изходни механизми като релета, електродвигатели, соленоиди и клапани. [2], [7]

В последните десетилетия индустриалната автоматизация се превърна в ключов фактор за развитието на производствените предприятия и за прехода към т.нар. Индустрия 4.0. Тя позволява оптимизация на ресурсите, минимизиране на човешките грешки и постигане на висока ефективност чрез внедряване на интелигентни системи за управление. Основен двигател на този процес са програмируемите логически контролери (PLC), които осигуряват надеждно и детерминирано управление на технологичните процеси, като свързват физическия и цифровия свят в реално време.

Съвременните PLC системи надхвърлят традиционните си функции и се превръщат в интелигентни устройства, интегрирани с информационни технологии, изкуствен интелект и облачни решения. Те не само контролират производствени процеси, но и събират, анализират и обменят данни с други системи в мрежата. Това превръща PLC в централна част от кибер-физическите производствени системи, където бързината на реакция и точността на изпълнение са от решаващо значение за безопасността, качеството и ефективността на производството (фиг. 1).



Фиг. 1. *Управление чрез програмируемият логически контролер*

2. ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ПРОГРАМЕРУЕМ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕР

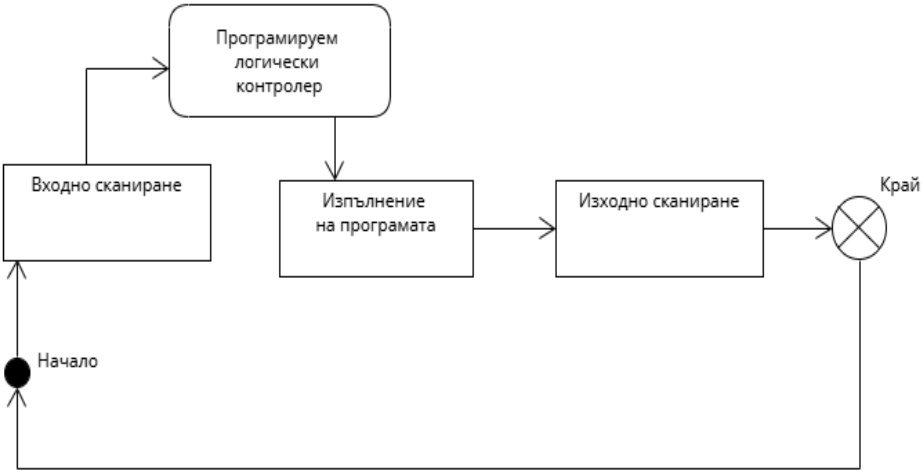
PLC контролерът работи в цикличен режим, известен като „scan cycle”, който включва три основни етапа:

• **Четене на входове (Input Scan):** Цифровите и аналоговите стойности от процеса се засичат и записват в паметта за входни данни.

• **Изпълнение на програмата (Program Execution):** PLC обработва логическата програма, като изпълнява инструкциите по редове и блокове, като използва актуализираните стойности от входните сигнали.

• **Обновяване на изходите (Output Scan):** Въз основа на резултатите от програмата се генерират изходни сигнали, които се изпращат към физическите изходи на контролера.

По-долу в фиг. 2 е показана поредността на операциите в стандартния работен цикъл на PLC, наречен още Scan Cycle



Фиг. 2. *Етапи от цикъла на PLC*

В индустриалната автоматизация времето играе активна роля в управлението на процесите. Програмируемите логически контролери функционират в среди, където решенията трябва да бъдат вземани и приложени в стриктно определени времеви рамки. Системите за работа в реално време трябва да реагират на входни сигнали или събития в строго зададени интервали. Нарушаването на тези интервали може да доведе до сериозни проблеми – от производствени дефекти до аварии или опасни ситуации. В реално времевите системи трябва да се осигури, че контролът е извършен в строго ограничено време, независимо от натоварването. За приложения с висока скорост на реакция(като роботи, контрол на движение и синхронизирани процеси) дори малко закъснение от няколко милисекунди може да бъде неприемливо. PLC системите са класически пример за технологии, работещи в реално време. Те изпълняват три основни функции по време на своите цикли:

- Въздействащи събития (Входен интерфейс.)
- Изпълнение на логическа програма
- Събития-реакции (Изходен интерфейс)

Целият този цикъл се изпълнява в рамките на стриктно определено време, обикновено по малко от 1 милисекунда, което позволява на PLC да реагира бързо и точно.

- **Предсказуемо поведение:** – Програмата се изпълнява редовно и с точно определена периодичност.
- **Бърза реакция:**– Контролерът може да реагира почти мигновено на промени в входните сигнали.
- **Надеждност:** – PLC работят стабилно дори в тежки индустриални условия, без да има сривове или забавяния.
- **Точен контрол във времето:** – С помощта на вградени таймери, прекъсвания и броячи, PLC могат да управляват събития с висока прецизност.

Тези характеристики са особено важни в приложения, където времето за реакция е критично. Пример: В автоматизирана линия, сензор засича продукт и изпраща сигнал към PLC, който трябва веднага да задейства печатащ механизъм. Закъснение от няколко милисекунди може да доведе до грешна или липсваща маркировка, нарушаваща качеството и синхронизацията. Това подчертава възможността на навременната реакция на PLC системите в реалновременни индустриални приложения. [1], [5]

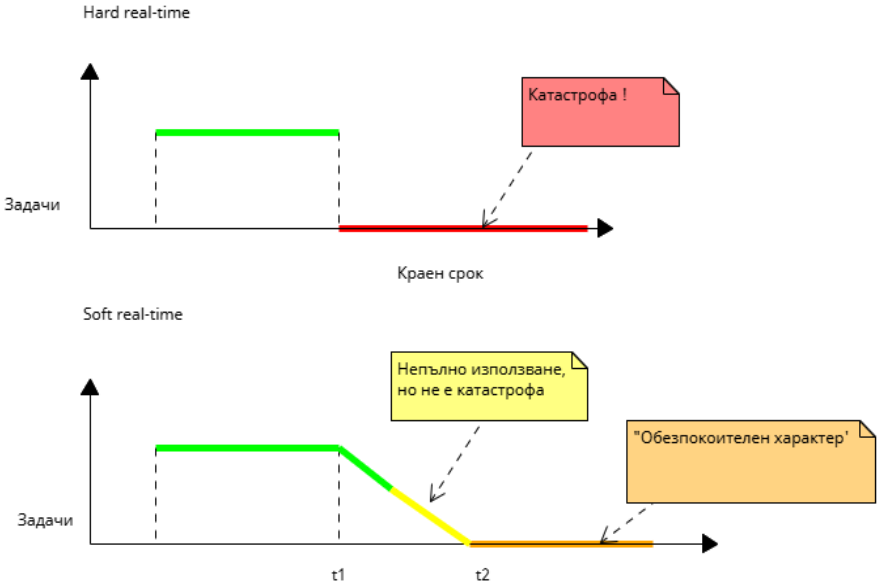
В индустриалните автоматизирани системи комуникацията между различните устройства е организирана в йерархична структура. На най-ниското ниво, наречено **полево ниво(field level)**, се използват протоколи като **AS-Interface(ASi)** за свързване на основни входно-изходни устройства като сензори, бутони и актуатори.

3. PLC СИСТЕМИ В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Повечето PLC системи работят като **soft real-time** (меки реално времеви) системи, което означава, че те не изискват стриктно спазване на времевите ограничения, въпреки че могат да обработват сигнали почти в реално време. Въпреки това, за приложения с критични изисквания, като **роботика и системи за безопасност**, се използват **hard real- time** (строго реално времеви) конфигурации с поддръжка на специализирани операционни системи като **RTOS**(Real-Time Operating Systems) и с приоритетно изпълнение за задачи. **Hard real-time** системите имат изискване за точно спазване на времевите срокове (deadlines); Всяко забавяне може да доведе до сериозни неизправности. Те използват детерминирани операционни системи като **FreeRTOS** или **VxWorks**, които гарантират, че задачите ще бъдат изпълнени точно в зададения времеви интервал чрез приоритетно планиране и ефективно управление на прекъсванията (фиг 3). [3], [10]

От друга страна, **soft real-time** системите позволяват малки отклонения от зададеното време, които обаче не водят до критични проблеми. Те работят с модифицирани версии на общо операционни системи като **Linux** с

PREEMPT_RT, но без абсолютна гаранция за спазване на конкретни времеви ограничения. **Hard real-time** гарантира строго спазване на времевите ограничения **(wors-case execution time), докато soft real-time** разчитат на статистически контрол, без да осигуряват същото ниво на гарантираност.



Фиг. 3. *Основни типове реакции*

Hard real-time системите се използват в критични индустриални процеси, роботика и медицински устройства, където всяко забавяне може да доведе до сериозни последствия. От друга страна, **Soft real-time** системи обикновено се прилагат в **SCADA** системи, мониторинг и процесен контрол, където изискванията за време не са толкова строги. Таблица 1 показва количествени показатели на PLC системи в реално време.

През последните години индустриалната автоматизация и системите с PLC в реално време се насочват към използването на edge computing и виртуализирани PLC (vPLC), което позволява бързо и ефективно изпълнение на контролни алгоритми като локално, така и в облачни платформи. Интеграцията с IIoT (Industrial Internet of Things) системи и координацията между IT и OT платформи осигурява централизирано наблюдение, предсказуема поддръжка и динамична оптимизация на производствени процеси. Внедряването на специализирани операционни системи за реално време (RTOS) гарантира надеждност при изпълнението на критични задачи, а индустриалните комуникационни протоколи като PROFINET, EtherCAT и OPC UA предоставят

детерминирани връзки с минимални отклонения и висока устойчивост. В същото време, киберсигурността става все по-значима, като се въвежда технологии за криптиране, автентикация и контрол на достъпа, които предотвратяват нежелани атаки. Пример за това е уязвимостта в системата Siemens S7- 1500, която води до нуждата от автоматизирано откриване на аномалии и самозащита в реално време. Изкуствения интелект намира приложение в PLC устройствата и edge устройствата, като използва модели като Bi-LSTM Autoencoder за анализ на сензорни данни и откриване на аномалии с висока точност. Това позволява навременна реакция на проблеми, без зависимост от облачното изчисление.

Таблица 1. *Количествени показатели на PLC системи в реално време*

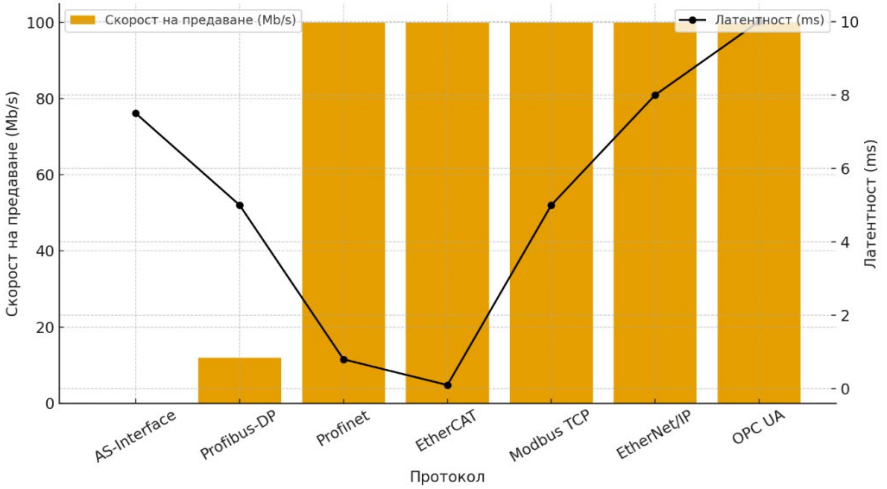
Показател	Hard Real-Time PLC	Soft Real-Time PLC	Описание
Време за реакция (Response time)	0, 1 – 1 ms	10 – 100 ms	Времето от входен сигнал до действие на изхода.
Точност на изпълнение (Timing jitter)	< 0, 05 ms	1 – 10 ms	Колебание във времето за изпълнение на задачите.
Максимална латентност	≤ 1 ms	≤ 100 ms	Забавяне при обработка на входно-изходни операции.
Честота на цикъла (Scan cycle frequency)	1 – 10 kHz	10 – 100 Hz	Колко пъти в секунда се извършва цикълът вход–обработка–изход.

4. КОМУНИКАЦИЯ И АРХИТЕКТУРА НА ИНДУСТРИАЛНИТЕ СИСТЕМИ

Съвременните PLC устройства, които включват edge функционалности и мощни процесори, осигуряват бързо изчисление с минимална латентност, намалено енергийно потребление и възможност за интеграция в различни мрежови инфраструктури, като Ethernet, WiFi и мобилни мрежи. Модулната архитектура предлага лесна замяна и разширение, отговарящи на растящите изисквания на индустриални производства. Нещо повече, HMI (Human Machine Interface) системите осигуряват интуитивни интерфейси за визуализация на данни в реално време, което значително улеснява мониторинга и контрола върху производствените процеси. Те обикновено са част от по-големи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системи, които предоставят централизирано управление и събиране на информация от множеството PLC устройства и други автоматизирани елементи. Таблица 2 и фиг. 4 показват сравнителен анализ между протоколи. [4], [8]

Таблица 2. *Сравнение на индустриални комуникационни протоколи*

Протокол	Скорост на предаване (Mb/s)	Латентност (ms)	Максимална дължина на кабела (m)	Макс. брой устройства
AS-Interface (ASi)	0.167	~5–10	100 (до 300 с репитери)	62
Profibus-DP	12	1–10	1000 (при 1.5 Mb/s)	126
Profinet	100 - 1000	<1	100	256
EtherCAT	100	<0.1	100	65 535
Modbus TCP	10 - 100	2–10	100	247
EtherNet/IP	100 - 1000	<10	100	256
OPC UA	100 - 1000	5–20	100	Без ограничение (в IP среда)



Фиг. 4. *Сравнение на индустриални контролери по латентност и скорост*

PLC контролерите изпълняват важни контролни задачи с висока надеждност и гарантирана времева реакция, което дава възможност на операторите да взаимодействат с дигитални модели в реално време. В този контекст, хармонизираната автоматизация изисква още по-стриктен контрол, особено когато става въпрос за координация между хора, роботи и автономни машини. PLC устройствата изпълняват точно дефинирани задачи в реално време, обработвайки входни и вземайки решения в стриктно зададени времеви рамки, което е критично за безопасността и ефективността на автономното производство. [3], [9]

5. ПРИЛОЖЕНИЯ НА PLC В ИНДУСТРИЯТА

Програмируемите логически контролери намират широко приложение в различни индустриални сектори, като в зависимост от областта те изпълняват различни специфични функции за контрол, синхронизация и надзор:

- В **автомобилната индустрия:** PLC управляват роботи, използвани при заваряне, боядисване и монтаж, като осигуряват синхронизация, логика на защита(interlock) и безопасни спирачни състояния.
- В **хранително-вкусовата и фармацевтичната индустрия:** те контролират процеси като дозиран, пълнене, смесване, стерилизация и опаковане, като осигуряват контрол върху параметри като температура, влажност и други.
- В **енергийния сектор:** Системите се използват за мониторинг и управление на турбини, генератори и трансформаторни подстанции, за автоматичен превключвател при аварии, баланс на натоварвания и защита на схемите.
- В **водоснабдяването и пречистването на вода** те управляват помпи, нивомери, клапани, химическо дозиране и анализ на параметри като pH и проводимост.
- В **сградната автоматизация** се използват за управление на HVAC системи (отопление, вентилация и климатизация), осветление, контрол на врати, противопожарни системи и аварийни сценарии.
- В гъвкавото **производство** и смяна на серии позволяват бързо конфигуриране на производствени линии, избор на рецепти и превключване между различни производствени режими.

Овен тези основни приложения, PLC устройствата често изпълняват и задачи като обработка на аналогови и цифрови входове/изходи, синхронизация на задвижвания, контрол на последователности (sequence control), interlocks и безопасни спирания. Те също така участват в събирането на данни и комуникацията с SCADA/MES системи чрез протоколи като Modbus, Profibus, Etherner/IP и OPC UA. Днешните PLC системи са значително по-ефективни и модерни. Те предлагат:

- Висока надеждност, стабилност и предсказуемо поведение в индустриална среда;
- Възможност за надграждане с нови технологии като **Edge** изчислени, **IoT** устройства и **AI** алгоритми;
- Диагностика и поддръжка в реално време, което позволява откриване на проблеми и бързо реагиране преди възникване на по-сериозни последствия.

Въпреки това, съществуват и някои предизвикателства:

- Висока първоначална инвестиция за внедряване на нови PLC устройства, хардуер и мрежова инфраструктура.

- Недостиг на квалифицирани специалисти, които да администрират **PLC, IoT, AI** и мрежова сигурност.
- Рискове за сигурността на данни поради слабо защитени протоколи, уязвимости във firmware или при отдалечена поддръжка.
- Латентността и спазването на времевите ограничения, когато много устройства и сензори трябва да работят синхронизирано.
- Несъвместимостта между устройствата от различни производители или с остарели системи, което затруднява комуникацията и надграждането.

На фиг. 5 са показани предизвикателства при внедряването на PLC в индустрията.



Фиг. 5. *Предизвикателства при внедряването на PLC в индустрията*

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Програмируемите логически контролери (PLC) продължават да играят основна роля в индустриалната автоматизация. Към 2024г. те се развиват като интелигентните системи, които не само управляват процеси, но и могат да се самооптимизират, откриват аномалии и вземат автономни решения. Това е възможно благодарение на интеграцията на нови технологии като edge изчисления, изкуствен интелект **(AI)** и индустриален интернет **(IIoT)**. Тези иновации правят PLC системите по-гъвкави и ефективни, особено в динамични производствени среди, където времето за реакция е от критично значение. Например, при роботизирани линии всяка милисекунда закъснение може да се отрази на качеството и безопасността на производството. [3], [6]

Програмируемите логически контролери ще останат основен стълб в напредъка на цифровизацията в индустриите. Благодарене на тяхната надеждност, бързодействие и интеграционни възможности с нови технологии, те се доказват като незаменими за оптимално и устойчиво управление на индустриални процеси. С нарастващото значение на автоматизацията, те ще продължат да играят централна роля в ефективността и стабилността на модерните производствени системи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Денев Д., Цанков Ц. Динамична оптимизация на пакети от данни базирана на комуникацията за визуален мониторинг на PLC. Сборник доклади от Годишна университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“, Велико Търново, 2022, ISSN 2367-7481, pp. 1259-1266.

[2] Denev D., Hristova E., Tsankov Ts. Improving network communication and enhancing the reliability of programmable devices in the industry. Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIII E, Faculty of technical sciences, 2023, ISSN 1314-8818, pp. 38-51.

[3] Yankova-Yordanova, Y., V. Kodzheykova, 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, USA, лицензиран в EBSCO, Volume 15, 2019, pp. 37-47, ISSN 1314-6289.

[4] Denev D., Tsankov Ts. Design and Implementation of a Field Level of an Industrial Communication Network for the Needs of the Industry. 57th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST 2022, Ohrid, North Macedonia, ISBN 978-166548500-5.

[5] Лалев Х. Л., Цанков Ц. С. Синтез на компютърни системи за работа в реално време. Международна научна конференция, посветена на 105-годишнината от рождението на Джон Атанасов и Джон фон Нойман, Шумен, 2008, ISBN 978-954-577-540-6.

[6] Uzun, M. B., Atanasov, V. T., Common conception of software-defined networks, Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen, Konstantin Preslavsky University Press, vol. XIII E, 2023, pp.112-119, ISSN 2815-4703.

[7] Denev D., Tsankov Ts., A Novel Approach in Implementation and Amelioration of Data Processing in Packet Switching Technology, 2025, Proceedings of International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, Electronic ISSN: 2603-3267.

[8] Linko G. Nikolov, Vasil O. Slavyanov, „Network infrastructure for cybersecurity analysis“, Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies”, ISSN 2367-7902

[9] https://www.siemens.com/global/en.html

[10] https://www.isa.org/

СЪЗДАВАНЕ НА ГЕЙМИФИЦИРАНИ ПЛАТФОРМИ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПО АВТОМАТИЗАЦИЯ И МРЕЖИ

Илкер А. Хатиб, Даниел Р. Денев

CREATING GAMIFIED PLATFORMS FOR TRAINING IN AUTOMATION AND NETWORKS

Ilker A. Hatib, Daniel R. Denev

ABSTRACT: *With the development of digital technologies and the growing importance of automation and computer networks, the need for innovative educational methods is becoming increasingly tangible. Gamification, by introducing game elements into learning environments, offers an effective way to increase the motivation and active participation of learners. This approach is particularly applicable in technical disciplines that require not only theoretical knowledge, but also practical application. This report examines the architecture and principles for creating gamified learning platforms in the field of automation and networks. The main components of the platforms are presented – training modules, simulation environments, game challenges and assessment systems. Through simulations, missions and game scenarios, learners can build practical skills close to real work situations. Despite the significant advantages, the development of such platforms hides technical and pedagogical challenges. A careful balance between entertainment and educational value is required. However, through the integration of modern technologies such as artificial intelligence and virtual reality, gamified learning has the potential to become a standard for modern technical education.*

KEYWORDS: *Gamification, Training, Automation, Computer networks, Simulation, Platforms, Interactive education, Industry 4.0, Game scenarios, Virtual learning*

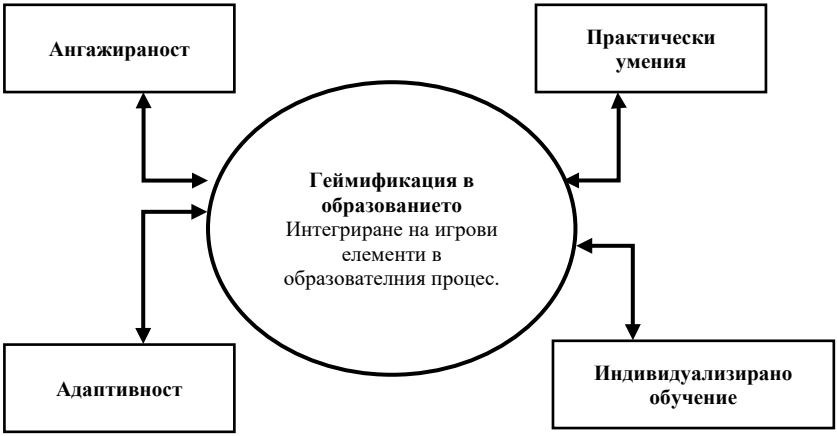
DOI: https://doi.org/10.46687/YT25IDD

1. Въведение

В условията на бързо променящ се технологичен свят, образователните системи са изправени пред предизвикателството да подготвят кадри, способни да се адаптират към нови технологии, процеси и методи на работа. Дисциплини като автоматизацията и компютърните мрежи изискват не само стабилна теоретична подготовка, но и способност за прилагане на знания в реална среда. Традиционните методи на преподаване – базирани предимно на лекции и статични упражнения – често не успяват да изградят необходимите практически умения и не задържат вниманието на съвременните обучаеми, свикнали с дигитална интеракция. В отговор на тази необходимост, геймификацията се

очертава като мощен инструмент за ангажиране и обучение. Внедряването на игрови механизми в образователен контекст позволява създаването на интерактивна и динамична учебна среда, която провокира логическо мислене, сътрудничество и инициативност. Игровите елементи – като нива, точки, предизвикателства и виртуални награди – стимулират активното участие и правят обучението по-приятно и ефективно. Когато тези елементи се комбинират с реалистични симулации в сферата на автоматизацията и мрежите, обучаемите имат възможност да прилагат наученото в контекст, близък до реалния свят. Допълнително, дигиталната трансформация в образованието създава предпоставки за изграждане на платформи, които могат да бъдат адаптирани към индивидуалните нужди на всеки обучаем, да проследяват напредъка му и да предоставят целенасочена обратна връзка. [1]

С помощта на геймифицирани обучителни платформи, преподавателите получават мощен инструмент за обогатяване на учебния процес, а обучаемите – достъп до една по-мотивираща, ангажираща и практически насочена образователна среда. На фиг. 1 е показана схема на геймифициран процес в образованието.



Фиг. 1. *Схема на геймифициран процес в образованието*

2. Значение на автоматизацията и мрежите в съвременния свят

Автоматизацията и компютърните мрежи са в основата на съвременната индустриална и информационна инфраструктура. Те играят централна роля в развитието на Индустрия 4.0, където машините и процесите са взаимосвързани и автономни. Автоматизираните системи позволяват повишена ефективност, минимизиране на човешките грешки и намаляване на разходите, докато компютърните мрежи осигуряват необходимата свързаност, чрез която данните се предават, анализират и използват в реално време. В ежедневния живот също наблюдаваме разширена роля на тези технологии – от умни домове и градове до

автономни превозни средства и интелигентни производствени линии. Бизнесът, образованието и здравеопазването също разчитат на автоматизирани процеси и сигурни мрежи, за да функционират ефективно. В този контекст, нуждата от квалифицирани специалисти, които разбират взаимодействието между автоматизирани устройства и мрежова инфраструктура, се увеличава експоненциално. Фиг. 2 показва взаимодействието между автоматизацията и работата в мрежа. [3]



Фиг. 2. *Взаимодействие между автоматизацията и работата в мрежа в съвременното образование*

Традиционните образователни подходи често не отговарят адекватно на тази необходимост. Преподаването на такива комплексни дисциплини изисква съчетаване на теоретични концепции с практически умения за конфигуриране на мрежи, писане на логически програми за PLC контролери, работа със сензори и индустриални протоколи. Това създава предизвикателство за образователните институции – да осигурят не само достъп до технологията, но и ефективни методи за нейното преподаване. Следователно, подходът към преподаването на автоматизация и мрежи трябва да бъде трансформиран така, че да подготвя обучаемите за реални условия и технологични екосистеми. Тук на преден план излизат виртуалните лаборатории, симулационните платформи и геймифицираните решения, които позволяват не просто усвояване на информация, а активно участие в симулирани реални сценарии. Това не само подобрява резултатите от обучението, но също така повишава увереността и професионалната готовност на обучаемите.

3. Геймификацията като метод за обучение

Геймификацията е процесът на внедряване на игрови елементи и механизми в контексти, които по природа не са свързани с игри – в случая, образованието. Тя не означава просто „играене на игри“, а прилагане на доказани игрови структури като нива, точки, награди, предизвикателства, класирания и истории, за да се засили мотивацията, ангажираността и продуктивността на обучаемите. В сферата на техническите науки, това позволява симулация на реални проблеми и предизвикателства в среда, която е едновременно безопасна и стимулираща. Изследвания показват, че когато обучението е поднесено по начин, който активира системите на награда в човешкия мозък, възприемането на нова информация се подобрява. Геймификацията използва това чрез механизми като незабавна обратна връзка, постепенна трудност и персонализирани предизвикателства. Прилагането на този подход при обучение по автоматизация и мрежи може да включва симулирани мисии – например създаване на логическа

схема за управление на поточна линия или настройване на защитена локална мрежа. На фиг. 3 е показана комфортната зона на геймифицираното образование.

Съществуват и допълнителни ползи, свързани с развитието на „меки умения“, като работа в екип, критическо мислене и умения за вземане на решения под напрежение. Много геймифицирани платформи насърчават съвместно обучение чрез съревнования между екипи, споделяне на стратегии и съвместно решаване на предизвикателства. По този начин геймификацията допринася не само за техническото развитие на учащите, но и за тяхното цялостно професионално изграждане. Важно е обаче геймификацията да бъде внедрена балансирано – така че игровите елементи да не засенчват учебното съдържание, а да го допълват и подсилват. Прекалено „игрово“ преживяване без образователна стойност може да доведе до загуба на фокус и ниска ефективност. За това при създаване на обучителни платформи трябва да се следват принципите на педагогически дизайн, като се осигурява ясно структурирано съдържание, възможност за оценка и реална практическа стойност на задачите.



Фиг. 3. *Комфортната зона на геймифицираното образование*

4. Архитектура на геймифицирана обучителна платформа

В основата на ефективната геймифицирана платформа стои добре обмислената ѝ архитектура. Това не включва само технологията, върху която е изградена, а и начинът, по който съдържанието се структурира, поднася и адаптира спрямо потребителя. Образователните цели трябва да бъдат ясно дефинирани и обвързани с игровите елементи, така че участниците не просто да „играят“, а да учат чрез действие и симулация. Съществена част от архитектурата е и способността на платформата да осигурява персонализирано обучение. Това включва възможности за различни нива на трудност, адаптивни сценарии, обратна връзка в реално време и механизми за проследяване на напредъка. Обучаемите трябва да могат да преминават през учебния материал по собствено темпо, като се ангажират чрез игрови предизвикателства, които отразяват реални ситуации. [2]

Четирите основни компонента на такава платформа включват: обучителен модул, игрови елемент, оценяване и обратна връзка, както и симулационна среда.

Всеки от тези елементи играе ключова роля за постигане на баланса между образователна стойност и игрова мотивация (фиг. 4). По-долу разглеждаме поотделно всеки от тях:

— ***Обучителен модул***

Първият и най-основен компонент е обучителният модул. Той съдържа цялата теоретична и практическа информация, структурирана така, че да бъде лесна за възприемане, адаптивна и достъпна. Това може да включва видеоуроци, текстови обяснения, инфографики, интерактивни уроци и вътрешни тестове. Целта на този модул е да предостави обучаемите с базисни знания, които ще им бъдат нужни за успешно справяне със симулациите и предизвикателствата. Информацията се разкрива постепенно, като всяко следващо ниво отключва ново съдържание и възможности за развитие. [4]

Обяснение: Обучителният модул служи като „учебник в движение“, достъпен по всяко време, с възможност за преговор и затвърждаване. Той гарантира, че игровите действия се основават на реални знания.



Фиг. 4. *Цикъл на геймифицираното обучение*

— ***Игрови елемент***

Игровите елементи са това, което превръща една стандартна платформа в геймифицирана. Те могат да включват точки, баджове, нива, таймери, „мисии“ и разказвателна рамка (storyline), която придава смисъл на всяко действие. Гейм-дизайнът трябва да е балансиран така, че да поддържа интереса без да разсейва от учебната цел. Освен чисто визуално и мотивационно, игровите елементи имат и структурираща функция – те организират учебното съдържание в логическа последователност и създават вътрешна динамика в платформата. Те могат да

превърнат едно обикновено упражнение по настройка на IP адреси в мисия за „спасяване на сървър“, например.

Обяснение: Игровите механики създават усещане за постижение и прогрес, мотивирайки потребителите да продължат, без да чувстват умора или скука от ученето.

— ***Оценяване и обратна връзка***

Този компонент е критичен за проследяване на напредъка на обучаемите. Той включва автоматично оценяване на задачи, персонализирана обратна връзка, статистики, както и класиране по успех. Чрез визуални индикатори (напр. проценти, звезди, нива) обучаемите знаят докъде са стигнали и какво им предстои. Системата за оценяване трябва да бъде прозрачна и обективна, като позволява на обучаемия да се учи от грешките си и да ги коригира в реално време. Това може да включва насоки, обяснения на отговори, и възможност за повторно преминаване през задача или мисия.

Обяснение: Обратната връзка поддържа ангажираността и предлага конкретни насоки за подобрение, което прави ученето по-ефективно и целенасочено.

— ***Симулационна среда***

Най-ключовият компонент за технически дисциплини е симулационната среда. Тя позволява на обучаемите да прилагат знанията си в практически сценарии – например, да изградят мрежа, да конфигурират рутер или да програмират PLC. Симулациите трябва да бъдат реалистични, интерактивни и да позволяват грешки, които обучаемият да анализира и коригира. В идеалния случай, симулационната среда поддържа интеграция с индустриални инструменти (напр. Cisco Packet Tracer, Factory I/O, TIA Portal), което повишава нейната приложимост и стойност. Освен това тя трябва да е съвместима с игровите механики – мисии, резултати и нива да се базират на успешно изпълнение на симулираните задачи.

Обяснение: Симулацията е „работната площадка“ на обучаемия – безопасно пространство, където се учи чрез правене, а не само чрез четене.

5. Разработка на примерни сценарии и мисии

Геймифицираното обучение става особено ефективно, когато съдържанието е представено под формата на мисии и предизвикателства. Такива игрови сценарии не само повишават интереса, но и създават контекст за знанията – обучение чрез решаване на реални проблеми. Подобен подход развива умения за анализ, прилагане и вземане на решения под натиск. Всеки сценарий трябва да бъде внимателно изграден така, че да отговаря на предварително зададени учебни цели. Мисиите могат да се разглеждат като „проекти в миниатюра“, които комбинират теория и практика. Те трябва да предлагат различни нива на трудност и да стимулират самостоятелно и екипно решаване на задачи. По-долу са представени примери за два основни типа игрови сценарии: един в сферата на компютърните мрежи и един в сферата на индустриалната автоматизация. Таблица 1 показва показатели а фиг. 5 сравнителен анализ. [6]

— ***Мисия: „Настрой мрежата“***

В този сценарий обучаемият поема ролята на IT техник, който трябва да възстанови комуникацията в офисна мрежа след срив. Задачата включва откриване на грешки в IP конфигурацията, настройка на маршрутизатори, проверка на свързаност и прилагане на мерки за сигурност. С напредване на нивата, се добавят допълнителни елементи – настройка на VLAN-и, създаване на firewall правила или внедряване на VPN тунели. Всеки правилно изпълнен етап носи точки и отключва нова мисия.

Обяснение: Този тип мисия симулира реална ИТ задача и развива практически умения за конфигуриране и диагностика на мрежи.

Таблица 1. *Показатели за геймифицирани обучителни сценарии*

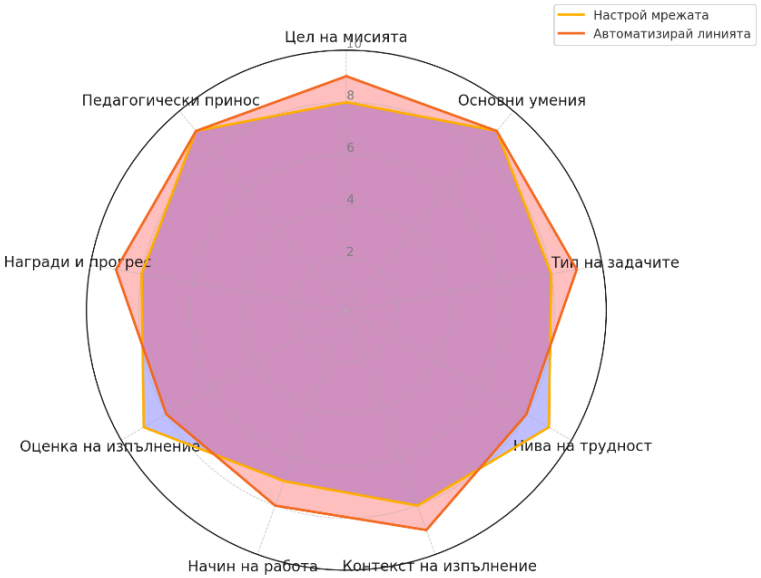
Показател	Мисия: „Настрой мрежата“	Предизвикателство: „Автоматизирай производствената линия“
Цел на мисията	Възстановяване и конфигуриране на офисна мрежа	Създаване на логическа програма за контрол на поточна линия
Основни умения	IP диагностика, маршрутизация, VLAN, VPN, мрежова сигурност	PLC програмиране, сензори, изпълнителни механизми, SCADA визуализация
Тип на задачите	Технически, симулативни, последователни	Инженерни, логически, програмен дизайн
Нива на трудност	Нарастващи: от основна конфигурация до сложни защити	Нарастващи: от основна логика до адаптивна автоматизация
Контекст на изпълнение	Виртуална офис среда, под формата на срив	Виртуална фабрика с реалистична линия и симулация на продукция
Начин на работа	Самостоятелно или в екип	Индивидуална разработка с възможност за сътрудничество по модули
Оценка на изпълнение	Точки за всеки успешно решен етап, наказания при грешки	Точки и обратна връзка при симулационни резултати
Награди и прогрес	Отключване на нови мисии, баджове, нива	Признания (сертификати), достъп до по-сложни сценарии
Педагогически принос	Развива умения за мрежова диагностика и реакция в реално време	Изгражда логическо мислене, точност и оптимизация при контролни процеси

— ***Предизвикателство: „Автоматизирай производствената линия“***

Обучаемият влиза в ролята на инженер по автоматизация и трябва да програмира логическа последователност за управление на поточна линия – например, сортиране на обекти по цвят и размер. Задачата включва използване на виртуален PLC, конфигуриране на сензори и изпълнителни механизми. По-

напредналите мисии могат да добавят смарт елементи – като адаптивни сензори, визуална инспекция или управление чрез SCADA интерфейс. Грешките в логиката се отразяват на „виртуалната продукция“, което изисква оптимизация и повторен анализ. [5]

Обяснение: Този сценарий развива техническо мислене и умения за логическо програмиране, базирани на реални производствени процеси.



Фиг. 5. *Сравнителен анализ на геймифицирани сценарии*

6. Предимства на подхода

Приложението на геймифицирани платформи в обучението по автоматизация и компютърни мрежи носи редица конкретни ползи както за обучаемите, така и за преподавателите. Комбинацията от интерактивност, игрови елементи и симулация на реални ситуации допринася за по-дълбоко усвояване на учебния материал и по-висока ефективност на образователния процес. Една от ключовите причини този подход да е толкова успешен е неговата способност да ангажира потребителя на емоционално и когнитивно ниво. Вместо да запаметяват абстрактни факти, обучаемите се поставят в практически контексти, които изискват мислене, решение на проблеми и действия. Това създава по-добро задържане на знанията и съответно – по-високи резултати. В допълнение, геймифицираните среди предлагат възможност за проследяване на индивидуалния напредък, което прави обучението по-адаптивно. Въз основа на резултатите и поведението на обучаемия, платформата може да препоръчва подходящи задачи, повторения или допълнителни ресурси. Така се създава

учебен процес, който се приближава максимално до личните нужди и стил на учене. [8]

— ***Повишена мотивация и ангажираност***

Игровите елементи като точки, нива и награди създават усещане за напредък и постижение. Това мотивира обучаемите да се включват активно, да се съревновават със себе си или с други и да се стремят към по-добри резултати. Динамичният подход предотвратява скуката и еднообразието, характерни за традиционното обучение. Освен това, когато обучаемите имат контрол върху напредъка си, те поемат по-голяма отговорност за своето обучение. Платформите с добре изградена геймификация често създават навик за ежедневно участие, което допринася за устойчиво знание и дългосрочни резултати.

Обяснение: Мотивацията и личната ангажираност са ключови фактори за успешно учене, особено при сложни технически теми.

— ***Устойчиво усвояване на знания***

Геймифицираните задачи предлагат знания в контекста на конкретни действия. Това изгражда асоциативни връзки между теорията и практиката, което прави знанията по-лесно приложими в реални ситуации. Например, настройка на IP адреси не се учи чрез таблица, а чрез решаване на игрова мисия. Освен това, възможността за повторно преминаване на мисии, търсене на оптимални решения и експериментиране с различни подходи, дава възможност на обучаемите да затвърдят наученото чрез практика. [10]

Обяснение: Когато знанието се усвоява чрез практика и игра, то става по-дълготрайно и достъпно за прилагане в реална работна среда.

— ***Развитие на практически и аналитични умения***

Симулациите в геймифицираните платформи изискват активно участие и логическо мислене. Обучаемите не просто следват инструкции, а анализират ситуации, взимат решения, програмират и оптимизират процеси. Това развива важни професионални умения, които трудно се преподават чрез пасивно обучение. Допълнително, обучаемите се сблъскват с грешки и трябва да търсят начини за тяхното отстраняване. Това насърчава самостоятелно търсене на решения и критично мислене – умения, от съществено значение за технически професии.

Обяснение: Платформите помагат не просто да се учи, а да се мисли и действа като реален професионалист.

— ***Адаптивност и индивидуален подход***

Модерните геймифицирани платформи могат да следят прогреса на всеки обучаем и да адаптират съдържанието спрямо неговото ниво и скорост на учене. Това позволява на всеки ученик или студент да учи в собствен ритъм, без натиск или изоставане. При добре проектираната адаптивна система, платформата предлага подсказки, допълнителни материали или по-трудни задачи, в зависимост от това как обучаемият се справя. Това значително повишава ефективността на ученето.

Обяснение: Адаптивността прави обучението по-персонализирано и отговарящо на реалните нужди на обучаемия.

7. Предизвикателства и бъдещо развитие

Въпреки множеството предимства, внедряването на геймифицирани платформи за техническо обучение не е лишено от предизвикателства. На първо място стоят високите изисквания към техническата инфраструктура и разработка. Необходими са квалифицирани специалисти, добро педагогическо планиране и ресурси за поддръжка на платформата. [7]

Легенда:

- **Оценка (1–10):** Скалата представя степента на важност или потенциал (10 = изключително важно/перспективно).
- **Категория:** Класифицира предизвикателството или възможността по тип.
- **Обяснение:** Кратък контекст или извод въз основа на информацията от доклада.

Освен техническите изисквания, съществуват и методически въпроси – как да се гарантира, че геймификацията не засенчва учебната цел, а я подпомага? Как да се поддържа баланс между забавлението и обучението, така че потребителят да не загуби фокус? Отговорите на тези въпроси зависят от опита и визията на екипа, разработващ обучителната система. В бъдеще, развитието на технологии като изкуствен интелект, облачни изчисления и виртуална реалност отваря нови възможности за усъвършенстване на геймифицираните платформи. Тези технологии могат да се използват за персонализиране на обучението, създаване на реалистични симулации и улесняване на съвместна работа между обучаеми от различни локации. Таблица 2 показва анализ на предизвикателства и иновационен потенциал а фиг. 6 резултати. [9]

— ***Технически и педагогически предизвикателства***

Разработката на геймифицирана обучителна платформа изисква интегриране на образователни принципи, софтуерна архитектура и игрови дизайн. Това налага екипна работа между педагози, програмисти, дизайнери и инженери. Липсата на опит или синхрон между тези участници може да доведе до неефективни или дори объркващи платформи. Освен това, преподавателите трябва да бъдат подготвени да използват тези технологии адекватно. Необходимо е обучение, изграждане на методики за преподаване чрез геймифицирани среди и постоянна актуализация на съдържанието.

Обяснение: Трудността не е само в технологията, а в балансирането между игрови елементи и педагогическа стойност.

— ***Посоки за бъдещо развитие***

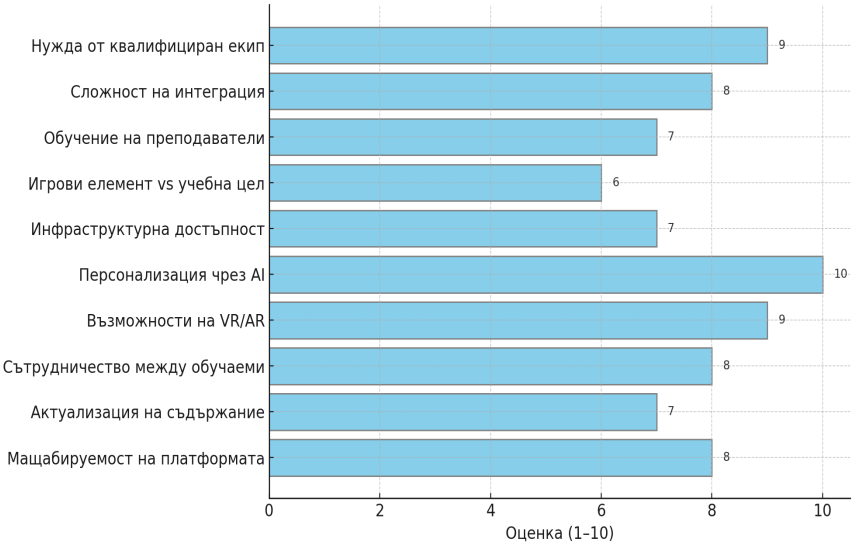
С напредъка на изкуствения интелект, бъдещите платформи ще могат автоматично да анализират поведенческите модели на обучаемите и да предлагат персонализирани мисии и обучения. Това ще позволи създаването на интелигентни учебни пътеки, които оптимизират напредъка според индивидуалния стил на учене. Освен това, VR и AR технологиите могат да се използват за създаване на напълно реалистични лабораторни среди, в които обучаемият може да „присъства“ физически, без да напуска дома си. Това би

революционизирало техническото обучение и направило сложни концепции визуално и практически достъпни.

Обяснение: Технологиите на бъдещето не само ще подобрят платформите, но и ще ги направят още по-интерактивни, гъвкави и ефективни.

Таблица 2. *Анализ на предизвикателства и иновационен потенциал при геймифицирано техническо обучение*

Показател	Категория	Оценка (1–10)	Обяснение / Данни
Нужда от квалифициран екип	Техническо предизвикателство	9	Изисква се координация между педагози, програмисти, дизайнери и инженери
Ниво на сложност при интеграция на платформа	Техническа сложност	8	Включва игрова механика, образователна логика и стабилна ИТ инфраструктура
Обучение на преподаватели	Педагогическо предизвикателство	7	Необходима е подготовка за работа в геймифицирани среди и методическа адаптация
Риск от доминиране на игровия елемент	Методологически риск	6	Неправилен дизайн може да отклони фокуса от учебната цел
Достъпност на нужната инфраструктура	Практическо ограничение	7	Облачни услуги и VR оборудване все още са скъпи за повечето учебни заведения
Потенциал за персонализиране чрез AI	Бъдеща технологична възможност	10	AI може да адаптира съдържание спрямо стил и напредък на обучаемия
Възможности за използване на VR/AR	Бъдеща технологична възможност	9	Създаване на симулации и виртуални лаборатории за обучение на място
Подобрение на сътрудничеството между обучаеми	Бъдещ педагогически ефект	8	Облачни платформи и съвместни сценарии стимулират екипна работа от разстояние
Актуализиране на съдържанието	Поддръжка и развитие	7	Изисква постоянна редакция на мисии, сценарии и игрови логики
Възможност за мащабиране на платформата	Икономическа и техническа перспектива	8	Добре проектирана система може да бъде използвана от множество институции



Фиг. 6. *Оценка на предизвикателства и иновационен потенциал при геймифицирано техническо обучение*

8. Заключение

Внедряването на геймифицирани платформи в обучението по автоматизация и компютърни мрежи представлява съвременен и ефективен отговор на нуждите на образованието в дигиталната ера. Този подход съчетава игрови механики с педагогически цели, като превръща процеса на учене в интерактивно, динамично и практически насочено преживяване. В контекста на техническите науки, където теорията и практиката са тясно свързани, геймификацията предлага уникалната възможност да се симулират реални условия по безопасен и достъпен начин.

Разгледаната архитектура на една геймифицирана платформа ясно показва необходимостта от балансирана интеграция между четири основни компонента: обучителни модули, игрови елементи, системи за обратна връзка и симулационна среда. Всеки от тях има своя роля в изграждането на среда, в която учащият се мотивира, ангажира, развива умения и получава смислена оценка на напредъка си. Използването на сценарии и мисии допълнително засилва връзката между наученото и реалния свят, превръщайки пасивното знание в активно и приложимо умение.

Предимствата на този подход са множество – от повишена мотивация и по-добро задържане на знанията, до развитие на практически и аналитични умения. Геймифицираното обучение също така отваря възможности за индивидуален подход и адаптация към нуждите на всеки обучаем, което е особено ценно при сложни технически дисциплини. Въпреки това,

предизвикателствата, свързани с техническата реализация и педагогическия дизайн, изискват внимателно планиране, междудисциплинарна експертиза и дългосрочна стратегия за развитие и поддръжка.

Гледайки напред, потенциалът на тези платформи само ще се увеличава с интеграцията на изкуствен интелект, виртуална реалност и облачни технологии. Това ще позволи още по-реалистични, персонализирани и достъпни обучителни решения. Геймифицираното обучение не е просто „игра“, а трансформация на учебния процес в преживяване, което мотивира, ангажира и подготвя обучаемите за реални предизвикателства в професионалната практика. В този смисъл, то е не просто алтернатива, а необходим еволюционен етап в съвременното техническо образование.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Andreev R., Simulation-Based Training in Computer Networking, 2020, Proceedings of the International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education, Sofia, ISSN 1313-8322, pp. 112–117.

[2] Boychev B., Educational Games and Gamification in Informatics, 2018, Annual Journal of Faculty of Mathematics and Informatics, Sofia University, ISSN 1314-226X, pp. 67–73.

[3] Dobrev D., Adaptive Learning Systems with Gamified Elements for Engineering Students, 2021, Journal of Education and Technology, Vol. 10, No. 1, ISSN 2683-9832, pp. 91–97.

[4] Gospodinova E., Interactive Learning Environments in Engineering Education, 2019, International Journal of Engineering Pedagogy, Vol. 9, No. 4, ISSN 2192-4880, pp. 25–31.

[5] Ivanov I., Todorov P., PLC Programming for Students – Using Virtual Labs, 2020, Proceedings of the National Conference on Automation and Informatics, Sofia, ISSN 2367-8453, pp. 144–149.

[6] Kazakov D., Simulation Software for Learning Industrial Automation, 2017, Journal of Technical Sciences, Rousse University, ISSN 1311-0829, pp. 203–208.

[7] Mihaylova M., Gamification Tools for Enhancing Motivation in Online Technical Courses, 2022, Journal of Innovations in Education, Vol. 5, No. 2, ISSN 2682-9730, pp. 56–62.

[8] Nikolov A., Remote Labs and Gamification in Network Education, 2018, Proceedings of the International Conference on Virtual Learning, Bucharest, ISSN 1844-8933, pp. 191–196.

[9] Ruseva S., Application of Gamified Modules in Vocational Training in Automation, 2021, Scientific Journal "Technical Education", Vol. 14, No. 1, ISSN 2603-3205, pp. 41–47.

[10] Todorova Y., Application of Gamification Models in Technical Vocational Training, 2021, Pedagogical Almanac, Veliko Tarnovo University, ISSN 1312-3321, pp. 133–140.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИ ФАКТОРИ И ПОДГОТОВКА НА КАНДИДАТИТЕ ПРИ ПРАКТИЧЕСКИ ИЗПИТ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МОТОРНИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА

Цветослав С. Цанков

PSYCHOLOGICAL FACTORS AND PREPARATION OF CANDIDATES IN THE PRACTICAL DRIVING TEST

Tsvetoslav S. Tsankov

СТУДИЯ

Научен редактор: проф. д.ик.н. Гошо Петков

ABSTRACT: *This study examines the psychological factors that are expected to influence the performance of candidates during the practical driving test for motor vehicle licensure. While Bulgarian legislation provides detailed technical and procedural regulations, it does not address the psychological preparedness of candidates. Drawing on international practices from Germany, Sweden, and the Netherlands, as well as a review of relevant scientific literature and professional observations in Bulgarian conditions, the paper outlines anticipated correlations between test outcomes and variables such as stress, anxiety, and coping strategies. A conceptual framework for psychological training is proposed, focusing on stress management, emotional regulation, and examiner awareness of psychological signals. The presented model is intended for future empirical validation, with the expectation that its implementation could improve candidate performance and inform policy reforms in Bulgaria.*

KEYWORDS: *Psychological preparedness, Driving test, Anticipated anxiety, Coping strategies, Examiner behavior, Emotional regulation, Driver training, Cognitive-behavioral approach, Psychological assessment, Road safety*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25CSC

Въведение

Психологическата стабилност, адаптивност и увереност на кандидатите за правоспособност за управление на моторни превозни средства (МПС) са от решаващо значение за успешното полагане на практическия изпит. Темата за психологическите аспекти в процеса на подготовка и изпитване е все още слабо разработена в българския контекст, въпреки ясното ѝ значение за пътната безопасност и общественото доверие в системата за контрол и лицензиране на водачи. Настоящата студия има за цел да анализира теоретичните, нормативните и емпиричните основания за включването на психологическа подготовка като

неделим елемент от цялостната система на обучение и оценяване на бъдещи водачи. [11], [25], [28], [37]

Емпиричният опит показва, че не само техническите умения, но и умението на кандидата да регулира емоциите си, да се адаптира към различни формулировки на изпитните задачи и да реагира спокойно при промени в условията на изпита, са ключови за крайния резултат. Например, когато изпитващият подаде указания по нетипичен начин – „продължи надясно“ вместо „излез на първи изход“ от кръгово, или „пети изход“ вместо „обратна посока“ на кръстовище с пет изхода – това може да доведе до объркване при кандидатите с по-висока тревожност или по-ниска когнитивна гъвкавост. Разбирането на тези психологически реакции е съществено за повишаване на обективността и справедливостта на изпитния процес. [13], [16], [17], [38]

Друг важен аспект е сензорната среда по време на изпита. Възможно е, при определени условия и ако нормативната база го позволява, тихата фонова музика да намали напрежението и да предотврати „измъчващата тишина“, която при някои кандидати усилва тревожността. В същото време, прилагането на такъв подход трябва да бъде внимателно изследвано и регламентирано, за да се избегнат всякакви рискове за концентрацията и безопасността. [14], [34], [35]

Практиката показва и потенциални ползи от стимулирането на кандидатите да „мислят на глас“ – да коментират тихо своите наблюдения и решения по време на изпита. Това подпомага изпитващия в разбирането на мисловния процес на кандидата и му позволява да идентифицира дали евентуалните грешки се дължат на липса на знания, неправилна интерпретация на ситуацията или на стресова реакция. [30], [31], [33]

Важна цел на тази студия е и разглеждането на специфични целеви групи – например кандидати под и над 40 години, както и по пол – с цел да се изследват възрастово и полово обусловени различия в реакциите, справянето със стреса и успешното изпълнение на изпитните задачи. Специално внимание ще бъде отделено на поведението на кандидати, които са се явявали многократно на практически изпит, но не са успели да го преминат. За тях обичайните методи за емоционално успокояване чрез приятелско отношение често са по-малко ефективни и изискват алтернативни стратегии – например структурирани предварителни инструкции или техники за визуализация на успешното представяне.

Теоретичната основа на този труд включва и принципа, че всяка сложна задача може да бъде разбита на поредица от прости, ясно дефинирани действия. Прилагането на този подход в подготовката и по време на изпита има за цел да внуши на кандидатите, че изпитът представлява поредица от лесно изпълними стъпки и правила. Това намалява усещането за непосилна сложност и подкрепя увереността на кандидата, без изрично да се акцентира върху броя или натрупването на задачите.

В този контекст психологическата готовност следва да се разглежда като измерим компонент на безопасното поведение, който може да бъде обективиран

чрез стандартизирани инструменти и наблюдателни протоколи, без да се нарушава принципът на равнопоставеност между кандидатите. С оглед на нарастващите възможности за автоматизация и дигитално подпомагане на оценяването, се очертава реалистична перспектива за въвеждане на индикатори за стрес и когнитивно натоварване като допълващ слой към съществуващите критерии за оценка.

Цел, задачи, хипотези и методика на изследването

Цел

Настоящата студия има за цел да изследва ролята на психологическите фактори в подготовката на кандидатите за придобиване на правоспособност за управление на МПС и влиянието им върху успешното представяне на практическия изпит. Целта включва както систематичен преглед на нормативната рамка и чуждестранния опит, така и обосновка на необходимостта от допълнителни интервенции, насочени към укрепване на психологическата готовност.

Задачи

— Да се анализират нормативните документи, регулиращи обучението и провеждането на практическия изпит в България – Наредба № 37/2002 г. и Наредба № 38/2004 г.
— Да се систематизира чуждестранният опит относно психологическата подготовка на кандидатите – с акцент върху Германия, Швеция и Нидерландия.
— Да се идентифицират основните психологически бариери и фактори, влияещи върху резултатите от практическия изпит.
— Да се предложи рамков модел за психологическа подготовка, интегрируем в съществуващата система за обучение и контрол.
— Да се направи препоръка към институциите за включване на оценка на психологическа пригодност в изпитния процес.
— Да се изследва влиянието на възрастта, пола и броя на предходните явявания върху успешността.
— Да се тества приложимостта на техники като „мислене на глас“ и структуриране на сложните задачи в прости стъпки.

Хипотези

— Предварителната психологическа подготовка на кандидатите понижава тревожността по време на практическия изпит и повишава вероятността от успешно преминаване.
— Изпитващите играят ключова роля не само като оценители, но и като посредници на психологически сигнали и поведенчески реакции.
— Прилагането на елементи от когнитивно-поведенческата терапия и тренинг за справяне със стрес може значимо да подобри представянето на кандидатите.

— Адаптираното подаване на инструкции (вариране на формулировките) повишава концентрацията, но при неподготвени кандидати може да предизвика дезориентация.
— При кандидати с многократни предходни неуспешни явявания стандартните методи на емоционална подкрепа имат по-ниска ефективност.

Методи

— Документален анализ на българската нормативна база и съответните европейски директиви (напр. Директива 2006/126/ЕО).
— Сравнителен анализ на модели от Германия (FeV §11), Швеция (Trafikverket) и Нидерландия (CBR).
— Интервюта със сертифицирани изпитващи и автоинструктори в България.
— Стандартизирани психологически въпросници за оценка на тревожност (STAI), самоувереност и мотивация.
— Качествен анализ на поведенчески реакции при реални изпити (анонимизирани наблюдения и протоколи).
— Групиране и анализ на данни според възраст, пол и брой явявания на изпит.
— Експериментално тестване на ефекта от „мисленето на глас“ и от прилагането на тиха музика като средство за редуциране на стреса (при нормативна допустимост).

1. Теоретични основи на психологическата подготовка на кандидатите за МПС

1.1. Психологически характеристики, влияещи върху управлението на МПС

Процесът на управление на моторно превозно средство е сложна дейност, изискваща съчетание от когнитивни, поведенчески и емоционални умения. За разлика от чисто механичното шофиране, успешното управление включва постоянна интеграция на сетивни данни, бързо вземане на решения и ефективна реакция на динамично променящи се условия. Сред ключовите психологически характеристики, оказващи влияние върху поведението на водача, се открояват:

— Разпределено внимание и способност за многозадачност – едновременно следене на пътната обстановка, управлението на автомобила и спазването на правилата за движение;
— Реактивност и време за вземане на решение – способността да се реагира своевременно и адекватно при внезапно възникнали ситуации;
— Толерантност към стрес и умения за справяне с напрежение – поддържане на контрол над поведението при повишено напрежение;
— Самоконтрол и емоционална регулация – умение за овладяване на импулсивни реакции, особено при провокации от други участници в движението;

— Мотивационна ориентация и локус на контрол – вътрешната или външна ориентация на отговорността за успеха, която влияе на увереността и упоритостта на водача.

Психологическите модели за анализ на поведението при шофиране често стъпват върху теорията за планираното поведение (Ajzen, 1991) и теорията за когнитивния товар (Sweller, 1988). Те показват, че поведението е резултат не само от знания и умения, но и от вътрешни нагласи, мотивация и емоционално състояние. На практически изпит тези фактори могат да се проявят като прекомерна тревожност, забавени реакции, двигателна неувереност или компенсаторно рисково поведение.

1.2. Роля на психологическата подготовка за формиране на устойчиви умения

В България психологическата подготовка при обучението за управление на МПС обикновено се осъществява неформално и зависи основно от стила на конкретния инструктор. Липсата на стандартизирани методики и психологически инструменти означава, че кандидатите често са оставени да се справят със стреса и напрежението по интуитивен начин.

За разлика от това, в Германия (§11 FeV) и Швеция (Trafikverket, 2021) се използват стандартизирани тестове за оценка на реактивността, устойчивостта и способността за справяне с рискови ситуации. Международните добри практики включват:

— Използване на симулативни платформи за адаптация към стресови условия;
— Провеждане на семинари по управление на тревожността преди изпита (CBR – Нидерландия);
— Работа със сертифицирани психолози в рамките на автошколите.

Такава подготовка развива увереност, автоматизира реакциите и намалява физиологичния отговор към стрес. Това води до по-голяма адаптивност на кандидатите и по-добро справяне с непредвидени ситуации по време на изпита.

1.3. Стресови фактори при практическия изпит и стратегии за справяне

Практическият изпит за придобиване на правоспособност е ситуация, в която се комбинират висока отговорност, силен емоционален натиск и необходимост от бързи решения. Основните стресови фактори включват:

— Страх от провал и социална оценка;
— Присъствие на фигура на контрол (изпитващия);
— Ограничено време за реакции и натиск от пътната обстановка.

Към тях се прибавя и объркването при промяна в начина на подаване на инструкции – например, на кръгово кръстовище изпитващият може да каже „завий надясно“ вместо „излез на първи изход“. Макар действията да са идентични, промяната във формулировката може да провокира дезориентация при кандидатите с по-висока тревожност. На по-сложни кръстовища с пет изхода,

изрази като „пети изход“ или „обратна посока“ също могат да изискват по-сложна когнитивна обработка и да увеличат стреса.

В тази връзка се препоръчва прилагането на техниката „мислене на глас“, при която кандидатът тихо изрича действията, които възнамерява да извърши. Това не само подпомага концентрацията, но и дава на изпитващия по-добро разбиране за мисловния процес на кандидата.

Експериментално се разглежда и възможността за тиха фонова музика по време на изпита, която да намали напрежението и „измъчващата тишина“. Въпреки това, преди внедряване на такъв подход е необходимо нормативно проучване относно допустимостта му.

Съгласно Lazarus & Folkman (1984) и Meichenbaum (2007), ефективното справяне със стреса включва комбинация от емоционална регулация, когнитивен рефрейминг и физиологични техники като диафрагмално дишане и автогенен тренинг. В някои страни, като Норвегия и Япония, кандидатите преминават през умишлено предизвикани ситуации на дезориентация, за да се тренира адаптивност и устойчивост.

2. Нормативен анализ на българската практика и преглед на чуждестранния опит

2.1. Анализ на действащата нормативна рамка в България

Практическият изпит за придобиване на правоспособност за управление на моторно превозно средство (МПС) в Република България представлява заключителен етап в подготовката на бъдещите водачи, чиято цел е да се потвърди не само техническата компетентност, но и готовността за безопасно участие в пътното движение. Той е нормативно уреден основно от две ключови наредби, които задават рамката на обучението и оценяването.

Първата – Наредба № 37 от 02.08.2002 г. – регламентира обучението на кандидатите за водачи, определяйки съдържанието и формата на учебната подготовка, минималния брой часове и професионалните изисквания към инструкторите. Документът поставя акцент върху усвояването на технически умения и познаването на правилата за движение, но не включва структурирани изисквания за психологическа подготовка или оценка на устойчивостта на вниманието, емоционалната стабилност и адаптивността на кандидатите.

Втората – Наредба № 38 от 16.04.2004 г. – определя условията, реда и критериите за провеждане на изпитите, включително практическия. В чл. 26 и чл. 27 е записано, че кандидатите трябва да демонстрират овладяване на техники за безопасно управление и спазване на правилата за движение в реални условия. Въпреки това липсва изрично изискване за оценка на психическото състояние на кандидата, макар че множество изследвания (Matthews, 2002; Конопкин, 2011) показват, че стресът и когнитивното натоварване в изпитна обстановка често са решаващ фактор за качеството на управлението и допускането на грешки.

Въпреки че нормативната уредба в България е детайлна по отношение на техническите и процедурните аспекти на обучението и изпита, в нея отсъстват

ясно формулирани критерии за оценка на психологическите характеристики на кандидатите. Сред тях попадат нивата на тревожност, устойчивостта на вниманието, способността за бърза и адекватна реакция при непредвидени ситуации и емоционалната стабилност. Научните изследвания в областта на транспортната психология (Brown, 2018; Левин, 2015) подчертават, че именно тези фактори често определят разликата между успешното и неуспешното представяне на практически изпит. Липсата на подобни стандарти води до разминаване между формалните изисквания и реалните потребности на обучителния процес. Освен това отсъствието на официални протоколи за обучение на изпитващите в техники за разпознаване и управление на психологически бариери ограничава възможността им да реагират адекватно в ситуации, при които кандидатът изпитва силно напрежение или затруднения в концентрацията.

Наблюденията от реалната изпитна практика в България показват, че липсата на унифицирани психологически критерии има отчетливи последствия върху резултатите на кандидатите. Често се наблюдава неравномерна успеваемост между различни демографски групи. Например, кандидатите над 40-годишна възраст обикновено подхождат с по-голяма предпазливост и дисциплинираност, но същевременно демонстрират повишена емоционална реактивност и по-високи нива на стрес, особено в ситуации на неочаквана промяна в условията на изпита. От друга страна, по-младите кандидати се отличават с по-бързи реакции и по-гъвкаво внимание, но в определени случаи проявяват импулсивност и склонност към поемане на излишни рискове (Evans & Norman, 2003; Литвинов, 2017).

Друг често срещан проблем е ескалацията на тревожността при лица с множество предишни неуспешни опити. При тях традиционните стратегии за редуциране на напрежението – като поддържане на дружелюбен тон или вербално окуражаване – постепенно губят ефективност, а в някои случаи дори водят до обратен ефект поради засилено самонаблюдение и страх от поредно поражение.

Особено показателен е и феноменът на когнитивно объркване при промяна във формулировката на инструкциите. Например, при кръгово движение стандартното указание „първи изход“ обикновено се възприема интуитивно, докато алтернативната команда „надясно“ може да предизвика забавяне на реакцията или несигурност, особено сред по-възрастни кандидати или лица с по-ниско ниво на пространствено-визуално мислене (Carter et al., 2017). Тези наблюдения потвърждават необходимостта от по-строго интегриране на психологическата перспектива в нормативната уредба и в обучението на изпитващите.

В допълнение, действащата Инструкция № 3 за организиране и провеждане на изпитите изрично предвижда, че изпитващият следва да наблюдава и оценява единствено техническите умения и поведенческите реакции на кандидата. В документа липсва всякакво нормативно определение на ролята на изпитващия като потенциален психологически медиатор или фасилитатор на процеса. Това води до сериозен пропуск, тъй като редица емпирични изследвания

(Lazarus & Folkman, 1984; Литвинов, 2017) показват, че поведението и вербалният стил на лице в позиция на контрол – в случая изпитващият – може да модулира нивата на стрес и когнитивна ефективност на изпитвания.

Практиката в българските изпитни центрове демонстрира, че при определени комуникационни стилове на изпитващия – например прекалено официален, дистанциран или прекъсващ – се наблюдава рязко повишаване на напрежението у кандидата, което може да доведе до грешки, несвързани с реалните му умения за управление на МПС. Обратно, по-умереният и емпатичен подход на изпитващия, дори без излизане от рамките на обективното оценяване, може да стабилизира емоционалното състояние на кандидата, да улесни концентрацията му и да намали честотата на критични грешки (Carter et al., 2017; Evans & Norman, 2003).

Липсата на официално признание и регламентация на тези психологически аспекти води до големи индивидуални вариации между изпитващите и до непоследователност в изпитния процес, което в крайна сметка може да компрометира принципа на равнопоставеност между кандидатите.

В светлината на утвърдените международни практики и натрупания емпиричен опит в областта на психологията на обучението и изпитването, е необходимо българската нормативна рамка да бъде допълнена с конкретни изисквания, насочени към повишаване на психологическата устойчивост и адаптивност на кандидатите.

На първо място, следва да се въведе задължителна психологическа оценка преди допускането до практически изпит. Тази оценка може да се базира на утвърдени инструменти като Vienna Test System или Driver Stress Inventory, които са успешно внедрени в Германия и Канада. Подобен скрининг ще позволи ранно откриване на кандидати с повишена изпитна тревожност, забавено време за реакция или затруднения в разпределението на вниманието, като за тях могат да бъдат препоръчани целеви интервенции преди явяването им на изпит.

На второ място, е наложително да се предвиди специализирано обучение на изпитващите по техники за намаляване на стреса и адаптиране на комуникацията. Това включва умения за модериране на вербалния тон, управление на „тишината на изпита“, както и стратегическо формулиране на инструкциите с цел избягване на когнитивно претоварване. Подобни програми вече са част от подготовката на изпитващите в Швеция, Норвегия и Австралия.

На трето място, нормативната уредба следва да позволи адаптивни методики в хода на изпита – например целенасочена промяна във формулировката на инструкциите, използване на контролирани фонови звуци или тиха музика за редуциране на „тежката тишина“, както и кратки паузи между изпълнението на по-сложни задачи. Подобни техники са показали значимо намаляване на физиологичните показатели на стреса при кандидати (Carter et al., 2017; Yamamoto et al., 2019).

Въвеждането на тези мерки би осигурило по-справедлив, последователен и психологически оптимизиран изпитен процес, който не само измерва

техническите умения на кандидата, но и подкрепя неговата способност да ги прилага ефективно под стрес.

2.2. Преглед на чуждестранния опит в психологическата подготовка на кандидат-водачи

Германия

Германската система за лицензиране на водачи, регламентирана в Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV), представлява един от най-структурираните модели в Европа, в който психологическата подготовка е интегрирана като равнопоставен елемент спрямо техническите умения. Съгласно § 11 FeV, всички кандидати преминават психологически скрининг още преди напредналия етап на практическото обучение. Този скрининг обикновено включва тестове за скорост на реакция, устойчивост на внимание, толерантност към стрес и склонност към импулсивно поведение. Използват се стандартизирани методики като Vienna Test System, които предоставят обективни данни за когнитивните и емоционалните характеристики на кандидата.

При установяване на дефицити или повтарящи се неуспехи на практически изпити, кандидатите се насочват към индивидуални консултации с лицензирани психолози. Целта е не просто корекция на поведението, а изграждане на адаптивни стратегии за управление на напрежението и подобряване на концентрацията.

Особен акцент се поставя върху обучението със симулатори, които могат да възпроизвеждат широк спектър от стресови ситуации – внезапна промяна в трафика, агресивно шофиране от други участници, внезапно появяване на препятствия или неблагоприятни метеорологични условия. Изследвания в рамките на Федералния институт по пътна безопасност (BASt) показват, че подобни симулации значително подобряват способността за вземане на решения под натиск и намаляват времето за реакция (Schade & Schlag, 2003).

Тази интегрирана система гарантира, че изпитът в Германия е не само проверка на умения, но и тест за психологическа готовност, като резултатите се документират и отразяват в процеса на лицензиране.

Швеция

В Швеция обучението на кандидатите за шофьори е под контрола на Trafikverket – Държавната агенция за транспорт, която систематично включва психологическа подготовка в програмата за всички категории водачи. Един от основните акценти е върху груповите тренинги по управление на стреса, провеждани още преди първите практически занятия в реална пътна среда.

Тези тренинги се базират на принципите на когнитивно-поведенческата терапия (КПТ), като целта е кандидатите да изградят умения за рефрейминг на мисленето – т.е. да възприемат изпитната ситуация като управляемо предизвикателство, а не като заплаха. Прилага се техниката self-talk („саморазговор“), при която кандидатът вербално описва всяко свое действие по време на шофиране – например: „Поглеждам огледалото, включвам мигач, подготвям се за смяна на лентата.“ Този подход доказано повишава

концентрацията, намалява когнитивното натоварване и редуцира риска от пропуски поради стрес (Meichenbaum, 2007).

Допълнително, Trafikverket използва моделирани ситуации чрез симулатори и видеоанализ, в които кандидатите тренират реакции при критични условия – внезапно спиране на предно МПС, неочаквано появяване на пешеходец, или управление при заледена настилка. При тези упражнения инструкторите наблюдават не само техническите умения, но и психологическите реакции – напрежение, забавяне на реакциите, склонност към паника.

Шведската система също така прилага индивидуализирани стратегии за определени групи кандидати – например по-бавна скорост на подаване на инструкциите за по-възрастни обучаеми или интензивни упражнения за увереност при кандидати с високи нива на изпитно безпокойство.

Този подход е в синхрон с националната цел за Vision Zero, която разглежда пътната безопасност като комбинация от технически умения, психическа устойчивост и адаптивно поведение.

Нидерландия

В Нидерландия Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen (CBR) – Централното бюро за тестване на водачи, е институцията, отговорна за провеждането на теоретичните и практическите изпити, както и за стандартизирането на подготовката. Нидерландската система е известна с това, че интегрира симулационните технологии още от най-ранните етапи на обучението.

Симулационните сесии се провеждат преди реалното шофиране по пътищата и имат за цел да изградят базова устойчивост към сензорни разсейвания и емоционално напрежение. Кандидатите се поставят в контролирана виртуална среда, в която могат да се възпроизвеждат както стандартни ситуации (кръстовища, магистрали, кръгови движения), така и стресови сценарии – внезапно спиране на кола отпред, агресивен водач в съседната лента, силен дъжд или мъгла.

Един от характерните подходи на CBR е въвеждането на контролирани фонови стимули – тиха музика, звуци на градски шум или дори симулирани разговори в автомобила. Целта е да се обучи водачът да поддържа концентрация, когато вниманието му е предизвикано от паралелни стимули. Изследванията на de Waard & Brookhuis (1991) показват, че подобно обучение значително подобрява способността за бърза реакция при сложни трафик ситуации.

CBR прилага и адаптивен сценарен подход – изпитните маршрути и инструкциите се модифицират в реално време, за да се тества когнитивната гъвкавост на кандидата. Например, вместо предварително съобщен маршрут, кандидатът може да получи внезапна промяна в указанието: „Вместо да продължите направо, завийте на втория изход вдясно.“ Тези тестове позволяват оценка на уменията за бързо преосмисляне на плана и намаляват риска от „замръзване“ под стрес.

Друг акцент е индивидуалната психологическа подкрепа – при кандидати с установени високи нива на тревожност или с повтарящи се неуспешни опити,

CBR предлага консултации със специалисти, които анализират не само техническите грешки, но и емоционалните блокажи.

Този подход прави нидерландската система една от най-иновативните в Европа, тъй като разглежда изпита не като еднократно събитие, а като част от по-широка стратегия за изграждане на психологически устойчиви водачи.

Великобритания

Великобритания прилага модела „Graduated Driver Licensing“ (GDL), администриран от Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA), който представлява поетапна система за придобиване на правоспособност. Тази методика се основава на идеята, че новите водачи трябва да преминават през няколко фази на обучение и ограничено шофиране, преди да получат пълни права.

GDL включва три основни етапа:

— Учебен етап (Learner stage) – кандидатите могат да шофират само с инструктор или придружител, като фокусът е върху безопасното усвояване на базовите умения.
— Пробен етап (Probationary stage) – след успешно полагане на изпит, водачът има ограничени права (например ограничения за нощно шофиране или превоз на млади пътници).
— Пълен лиценз (Full licence) – предоставя се след преминаване на допълнителен период без сериозни нарушения.

В рамките на практическия изпит DVSA използва наблюдение на поведението в непознати ситуации. Кандидатите често се изправят пред маршрути, които не са им известни, а изпитващите могат целенасочено да въвеждат промени в последния момент. Например, вместо стандартна команда „завийте наляво на светофара“, може да се каже „след като преминете през кръстовището, вземете третия изход от кръговото движение“, което изисква бързо ориентиране и адаптивност.

Особен акцент се поставя върху вариативността на инструкциите. Целта е да се провери не само дали кандидатът разбира указанията, но и дали може да ги интерпретира правилно, ако са поднесени по нетипичен начин. Това е важно, тъй като в реалния трафик водачът получава информация от различни източници – навигация, пътни знаци, указания от пътни полицаи – и трябва да ги синхронизира в кратко време.

DVSA също така провежда изпити с елемент на „independent driving“ – част от маршрута кандидатът изминава без конкретни инструкции, следвайки карта, навигация или предварително дадени устни указания. Това развива умения за самостоятелно планиране и намалява зависимостта от постоянни команди.

Според Helman & Reed (2015), тази система не само подобрява техническата подготовка, но и намалява риска от инциденти сред новите шофьори с до 20% през първите две години след получаване на свидетелството.

Австралия

В Австралия обучението и изпитването на кандидатите за водачи е децентрализирано и се регулира от транспортните власти на отделните щати и

територии. Един от най-напредналите модели се прилага в щата Виктория, администриран от VicRoads – правителствената агенция, отговаряща за пътната безопасност и лицензирането на водачи.

Във Виктория се използва система, която интегрира задължителна психологическа подкрепа за кандидати с три или повече неуспешни практически изпита. Според VicRoads (2021), при такива случаи кандидатът се насочва към професионален психолог или специално обучен инструктор, който провежда серия от сесии за анализ на изпитните грешки и разработване на индивидуален план за подобрение.

Обучението е персонализирано и отчита:

- Възраст – при по-възрастни кандидати се набляга на упражнения за бързо вземане на решения и адаптация към съвременните пътни условия;
- Пол – при жени, които съобщават по-високи нива на изпитен стрес, се прилагат техники за управление на тревожността и повишаване на увереността;
- Типични грешки – напр. неправилно тълкуване на пътни знаци, проблеми с разпределението на вниманието, затруднения при маневриране.

Системата във Виктория включва и „Hazard Perception Test“ – специализиран тест за оценка на способността на кандидатите да предвиждат и реагират на потенциални опасности. Това е компютърно-базиран изпит, при който участниците гледат видеосценарии и трябва да реагират, когато възникне риск. Тестът измерва не само познанията по правилата, но и психомоторната координация и времето за реакция.

Интересен е и подходът „logbook system“, при който кандидатите в учебен етап трябва да регистрират минимум 120 часа шофиране, включително нощно време и при различни метеорологични условия. Това изискване цели изграждане на устойчива увереност и намаляване на шока от непознати ситуации.

Изследвания на Senserrick & Whelan (2003) показват, че въвеждането на психологически консултации и индивидуализирани програми за обучение във Виктория е довело до с 18% по-нисък брой провалени повторни изпити и значително намаляване на тревожността при кандидатите.

Канада

В Канада подготовката и изпитването на кандидатите за шофьорски книжки се регулира на ниво провинции и територии, като всяка има собствени стандарти и процедури. Онтарио е една от водещите провинции по отношение на интегрирането на психологически елементи в процеса на обучение и изпитване, администрирани от Ministry of Transportation of Ontario (MTO).

Една от ключовите иновации е т.нар. „стрес-адаптивен практически изпит“. По време на този изпит кандидатите се изправят пред неочаквани промени в маршрута или допълнителни задачи – например внезапно получават ново указание за маневра, което трябва да изпълнят безопасно в кратки срокове. Целта е да се провери не само техническата компетентност, но и емоционалната устойчивост и когнитивната гъвкавост на кандидата.

Допълнителен компонент на системата е „Graduated Licensing System“ (GLS) – двуетапен процес за придобиване на пълна правоспособност.

— G1 (ученически етап) – теоретичен изпит и минимум 12 месеца практика с придружител.
— G2 (преходен етап) – практически изпит с реални пътни условия, но с определени ограничения (напр. брой пътници).

По време на G2 изпита инспекторите в Онтарио често използват сценарийни инструкции („scenario-based commands“), при които изпитващият променя условията или дава инструкции в различна форма, за да провери адаптивността на кандидата.

МТО е въвел и тренировъчни симулатори, които се използват преди реалния изпит за подготовка при екстремни условия – напр. шофиране по заледени пътища, при силен дъжд или в условия на силен градски трафик.

Изследване на Mayhew, Simpson & Pak (2003) показва, че кандидатите, преминали през стрес-адаптивна подготовка, имат с 27% по-нисък риск от пътнотранспортни произшествия през първата година след получаване на книжка в сравнение с тези, които не са преминали такова обучение.

Този подход намира поддръжници и в други канадски провинции, като Британска Колумбия и Албърта, където се експериментира с „psychological readiness interviews“ – кратки интервюта преди изпита, целящи да идентифицират високи нива на стрес и да препоръчат кратка психологическа консултация при необходимост.

Япония

В Япония подготовката на кандидатите за свидетелство за управление на МПС е силно стандартизирана и интегрира както технически, така и психологически елементи. Организациите като Japan Automobile Federation (JAF) и регионалните училища по шофиране работят по единна програма, която включва обучение в контролирани условия с повишена когнитивна сложност.

Един от ключовите методи е многоканалното подаване на информация – по време на тренировките кандидатът получава едновременно визуални, вербални и тактилни сигнали. Например, при учебно упражнение на кръстовище инструкторът може да подаде словесно указание за маневра, докато светлинен индикатор в кабината сигнализира за промяна в приоритета, а същевременно се активира звуков сигнал за потенциална опасност.

Целта на този подход е да се развие умението за бърза обработка на множество входящи стимули – ключова компетентност в гъстия и динамичен японски трафик.

Освен това японската система включва:

— Обучение в симулатори с висока реалистичност – тези устройства могат да възпроизведат тежки метеорологични условия, внезапни появи на пешеходци и непредвидими маневри на други автомобили.

— Тренировки за „situational awareness“ (осъзнаване на обстановката) – упражнения, при които кандидатът трябва да описва всичко, което вижда в реално време, докато шофира.
— „Shadow driving“ – нов метод, при който кандидатът седи на пасажерската седалка и вербализира какви действия би предприел, ако той управлява. Това се прави за намаляване на когнитивното натоварване при реалното шофиране.

В японската култура голямо внимание се отделя и на емоционалната дисциплина – кандидатите преминават кратки курсове по управление на гнева (anger management) и техники за контрол на тревожността, тъй като агресивното поведение се счита за сериозно нарушение на социалната етика на пътя.

Проучвания на Yamaguchi et al. (2018) показват, че интегрирането на тези методи намалява броя на грешките, свързани с невнимание, с над 35% при кандидатите, преминали пълния курс на когнитивно-интензивно обучение.

В допълнение, след успешното преминаване на изпита, новите водачи в Япония преминават 6-месечен период на наставничество, при който периодично се оценява тяхното психологическо състояние и се дават препоръки за подобряване на вниманието и самоконтрола.

Норвегия

В Норвегия изпитната и обучителната система се администрира от Statens vegvesen (Норвежка пътна администрация) и е известна с прилагането на „deep learning sessions“ – интензивни обучителни модули, насочени към развитие на умения за вземане на решения под натиск и управление на собствените емоционални реакции.

Тези сесии са структурирани в няколко етапа:

— Теоретично въвеждане – кандидатите се запознават с психологическите механизми на стреса и влиянието му върху реакциите и преценката.
— Симулационна фаза – в специално оборудвани зали се провеждат компютърно контролирани сценарии, при които кандидатът трябва да реагира на внезапно възникнали ситуации (напр. рязко спиране на преден автомобил, появяване на дете на пътното платно, внезапна промяна на пътната маркировка поради ремонт).
— „Cognitive load management“ тренировки – кандидати управляват автомобил, докато едновременно получават допълнителни задачи, като например да запомнят поредица от цифри или да решат елементарна логическа задача. Това упражнение цели да развие устойчивостта към когнитивно натоварване.
— Емоционална саморегулация – обучават се техники като mindfulness, контролирано дишане и кратка визуализация преди маневра, за да се намали напрежението.

Особено внимание се отделя на анализа на грешките – след всяка сесия инструкторите провеждат подробен разбор, в който кандидатът трябва сам да идентифицира своите слабости и да предложи стратегии за подобрение.

Интересен аспект на норвежката система е интегрирането на обучение при екстремни климатични условия. Кандидатите преминават курс по шофиране върху лед и сняг на специализирани полигони, като фокусът е върху запазване на хладнокръвие и контрол на страха при загуба на сцепление.

Според проучване на Lund & Nordfjærn (2021), водачи, преминали „deep learning sessions“, показват с 28% по-малко стрес-индуцирани грешки по време на първата си година зад волана.

Тази система е доказала, че съчетаването на когнитивни тренировки, симулационни методи и емоционална подготовка създава по-адаптивни, уверени и безопасни шофьори.

2.3. Сравнителен анализ на българската практика с чуждестранния опит

Проведеният сравнителен анализ показва ясно структурирани различия между българската система за обучение и изпитване на кандидат-водачи и утвърдените практики в развитите държави. Основните несъответствия се наблюдават в три основни направления:

Психологически критерии и стандарти за оценка

В Германия, Швеция, Япония и Канада психологическите аспекти са регламентирани като официален компонент на подготовката и оценката. Например, § 11 на Fahrerlaubnis-Verordnung (Германия) изисква задължителна оценка на устойчивостта към стрес и когнитивната гъвкавост на кандидатите, докато в България такива критерии отсъстват. Това води до неравномерна оценка и до случаи, при които технически добре подготвени кандидати се провалят поради неспособност да управляват емоциите си в изпитна ситуация.

Подготовка на изпитващите

В чуждестранните системи изпитващите преминават специализирани курсове по психология на комуникацията, техники за деескалация на стреса и адаптивно подаване на инструкции. В Швеция, например, изпитващите се обучават да променят тона и формулировката на указанията в зависимост от реакциите на кандидата. В България подобно обучение не е предвидено, което често води до напрежение между изпитващ и кандидат и увеличава вероятността от грешки, провокирани от стрес.

Интегрирани методики и технологии

В Нидерландия, Канада и Япония използването на симулатори, фонови звуци и вариации в инструкциите е официално заложено в учебната програма. Например, Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen (Нидерландия) прилага тестови сценарии с контролирани фонови шумове, за да симулира реалната градска среда. В България подобни подходи са оставени на личната инициатива на инструктора и не са обвързани с нормативни изисквания, което води до значителни различия в качеството на подготовката между автошколите.

Ползи от прилагането на чуждестранните практики

Научните изследвания показват, че:

— Фоновата музика и вариациите в инструкциите стимулират когнитивната гъвкавост и способността за бърза адаптация (Carter et al., 2017; Hennessy & West, 1999).
— Сегментирането на групи по възраст и пол позволява разработване на целеви стратегии – например по-бавна и ясна подача на инструкции при кандидати над 40 години или упражнения за увереност при жени, които съобщават по-високи нива на тревожност (Evans & Norman, 2003).
— Симулационните технологии намаляват началния стрес с до 25% и ускоряват адаптацията към реалния трафик (Kawasaki et al., 2018).
— Когнитивно-поведенческите методики повишават способността за самоконтрол в непредвидими ситуации (Lazarus & Folkman, 1984).

Заключение от сравнителния анализ

Адаптирането на доказани международни подходи към българските условия би могло значително да подобри резултатите от практическия изпит и общата пътна безопасност. Необходимо е нормативно въвеждане на психологически критерии за оценка на кандидатите, задължително обучение на изпитващите в психологически техники и интегриране на симулатори и адаптивни методики в учебния процес.

Опитът на Русия показва, че след въвеждане на психологически блок в програмата за обучение на водачи през 2016 г. (ГИБДД, 2017) броят на неуспешните изпити намалява с около 12% в първите две години, а процентът на участниците в ПТП с млади водачи спада с 8% (Кузнецов и др., 2019). В САЩ прилагането на т.нар. *Driver Readiness Assessment* – тест, който включва симулирани критични ситуации – води до значително повишаване на умението за вземане на решения под стрес (McKnight & McKnight, 2003).

Освен това, скандинавският модел за подготовка на водачи показва, че внимателното въвеждане на когнитивно-поведенчески техники, съчетано с адаптивно подаване на инструкции, намалява броя на повторните явявания на изпит с до 20% (Nordfjærn & Şimşekoğlu, 2014). Според изследвания в областта на транспортната психология (Пономаренко, 2020; Reason, 2016), системното обучение на изпитващите в техники за емоционална саморегулация и вербална подкрепа по време на изпита води до по-висока обективност и по-малко конфликти между кандидат и изпитващ.

Така, комбинирането на нормативни промени, психологическа подготовка и технологични инструменти не само ще подобри ефективността на изпита, но и ще създаде условия за изграждане на по-устойчиви на стрес и по-отговорни водачи, които могат адекватно да реагират в динамична пътна среда.

3. Емпирично изследване на психологическите фактори при практическия изпит

3.1. Организация и методология на планираното изследване

С цел осигуряване на висока научна обоснованост, методическа прецизност и практическа приложимост на бъдещите препоръки, настоящият

проект предвижда провеждането на целенасочено емпирично проучване, което да изследва в дълбочина психологическите фактори, оказващи влияние върху представянето на кандидатите за придобиване на правоспособност за управление на МПС по време на практическия изпит. Проучването ще има за задача да обедини съвременни психологически теории, международен опит и локални особености на българската изпитна среда, за да бъдат формулирани препоръки, приложими както на нормативно, така и на методическо ниво. Настоящият етап обхваща единствено детайлната подготовка на изследването, включително планирането на целите, избор на методи и създаването на инструменти за събиране на данни, без на този етап да се пристъпва към реално събиране, статистическа обработка и публикуване на резултати. По този начин се осигурява максимална готовност за последващо изпълнение на проучването с минимални организационни и методически грешки, като се поставя силен акцент върху съгласуването с добри практики от страни с развит опит в психологическата подготовка на водачи.

Планираното изследване е структурирано в последователни и взаимосвързани етапи, всеки от които изпълнява специфична функция за постигане на висока валидност и надеждност на бъдещите резултати:

- Подробен анализ на нормативни документи и професионални практики – ще се извърши систематичен преглед на действащата българска нормативна база (Наредба № 37, Наредба № 38, Инструкция № 3) и на международни регламенти, като FeV (Германия), Trafikverket (Швеция) и DVSA (Великобритания). Анализът ще бъде допълнен с наблюдения на реални и симулирани изпитни ситуации, с цел да се установят практическите трудности и липсите в психологическата подготовка на кандидатите.
- Разработване и адаптация на изследователски инструменти – ще бъдат подготвени и преведени анкети, протоколи за полуструктурирани интервюта, наблюдателни чек-листове и психологически тестове с доказана научна валидност, като State-Trait Anxiety Inventory (Spielberger, 1983) за измерване на ситуативна и личностна тревожност, Rotter Locus of Control Scale за определяне на вътрешна или външна мотивационна ориентация и Brief COPE (Carver, 1997) за идентифициране на стратегии за справяне със стреса. При необходимост ще се извърши културна адаптация за български условия с цел повишаване на точността на измерването.
- Пилотно тестване на инструментите – преди мащабното прилагане на изследователските средства ще бъде проведено пилотно проучване с ограничена извадка от 10–15 участници. Чрез този етап ще се оцени разбираемостта на въпросите, времето за попълване, логическата последователност и чувствителността на инструментите към очакваните психологически вариации.

— Определяне на целевата извадка – ще бъдат ясно дефинирани групите участници, включително изпитващи с различен стаж, автоинструктори с разнообразен опит, както и кандидати, категоризирани по възрастови групи, пол и брой предишни явявания на изпита. Целта е да се гарантира представителност и да се осигури възможност за статистически сравнения между подгрупите.
— Изготвяне на подробен протокол за събиране на данни – ще се разработят стандартизирани инструкции за изследователите, график за провеждане на интервюта и анкетиране, както и детайлни критерии за допустимост и включване на участниците. Протоколът ще предвиди механизми за контрол на качеството на данните, включително двойна проверка на въведената информация и процедури за съхранение в защитена цифрова среда.

3.2. Етични съображения и защита на данните

Етичните съображения заемат централно място в подготовката и реализирането на планираното изследване, тъй като неговият успех зависи не само от методологическата прецизност, но и от доверието и сътрудничеството на участниците. Всеки участник ще получи подробна писмена и устна информация относно целите на изследването, съдържанието на предвидените дейности, очакваното време за участие и потенциалните ползи от проучването. Ще бъде ясно посочено, че участието е напълно доброволно и че всеки участник има неограниченото право да прекрати участието си на който и да е етап, без това да води до негативни последствия.

С оглед защитата на личните данни, ще бъде приложена процедура за информирано съгласие, при която всеки участник ще подпише декларация, потвърждаваща, че е запознат с целите, методите и правата си. Личната идентификационна информация няма да се събира в пряка форма, а на всеки участник ще бъде присвоен уникален код, чрез който данните ще бъдат анонимизирани. Това ще предотврати възможността за обратна идентификация на лицата дори от страна на изследователския екип.

Обработката и съхраняването на данните ще се извършват в съответствие с Регламент (ЕС) 2016/679 (GDPR) и Закона за защита на личните данни в Република България. Суровите данни ще се пазят в криптирана цифрова среда с ограничен достъп, като само оторизирани членове на екипа ще имат право на работа с тях. Всички хартиени носители (ако бъдат използвани) ще се съхраняват в заключени шкафове в защитени помещения. След приключване на изследването, данните ще бъдат съхранявани за предварително определен срок, след което ще се унищожат по сигурен начин.

В допълнение, изследването ще бъде съобразено с Етичния кодекс на Българската психологическа асоциация и международните стандарти, установени от American Psychological Association (APA), като ще се гарантира, че нито една процедура няма да създаде ненужен стрес, дискомфорт или риск за участниците.

При необходимост от психологическа подкрепа по време на процеса, ще бъде осигурена възможност за консултация със специалист.

3.3. Очаквани предизвикателства и стратегии за минимизиране на грешките

Още на етапа на подготовка на изследването се планира задълбочен анализ на възможните предизвикателства, които биха могли да окажат негативно влияние върху валидността и надеждността на резултатите. *Първото* и най-очевидно предизвикателство е свързано с неравномерното разпределение на участниците по възрастови групи и опит. Това може да доведе до дисбаланс в представителността на извадката и да изкриви резултатите, особено ако преобладава една конкретна демографска група (например млади кандидати, явяващи се за първи път). За преодоляване на този проблем ще бъде приложена стратифицирана извадка, при която участниците ще се подбират по предварително определени квоти за възраст, пол и брой предишни явявания на изпита.

Второто предизвикателство е склонността към социално желателни отговори – феномен, при който участниците дават отговори, които смятат за приемливи или „правилни“, вместо такива, които отразяват реалните им преживявания и нагласи. Това е особено актуално при теми, свързани със стрес, самоувереност и грешки при шофиране, тъй като кандидатите може да се стремят да представят себе си в по-добра светлина. За минимизиране на този ефект ще бъдат използвани анонимни въпросници, формулировка на въпросите по начин, който намалява чувството за оценка, както и косвени измервателни техники, при които реалното поведение се оценява чрез симулирани ситуации и наблюдения.

Трето, очаквано препятствие е ограниченият достъп до реални изпитни ситуации поради нормативни и организационни ограничения. Провеждането на наблюдения по време на официални практически изпити изисква разрешение от съответните институции, а също така може да бъде повлияно от фактори като поверителност, натовареност на изпитните центрове и готовността на изпитващите да съдействат. За преодоляване на това ограничение ще бъдат предвидени алтернативни методи, включително наблюдение на симулирани изпитни ситуации в контролирана среда, при които условията максимално наподобяват реалните, но позволяват гъвкавост в организацията и запис на поведението за последващ анализ.

Освен тези три основни предизвикателства, се предвижда и риск, свързан с отпадането на участници (attrition) по време на изследването. За да се минимизира този ефект, ще се осигури постоянна комуникация с участниците, гъвкавост в графиците за провеждане на тестовете и анкетите, както и стимули за участие (например предоставяне на обобщена обратна връзка или кратки обучителни материали по управление на стреса).

В обобщение, стратегията за минимизиране на грешките обхваща структурирана извадка, валидирани анонимни инструменти и комбиниране на

симулирани и реални условия, с цел осигуряване на надеждни и представителни данни за научно обосновани препоръки.

3.4. Логистична подготовка

Ефективната логистична подготовка е ключов фактор за успешното провеждане на планираното изследване, особено като се има предвид сложността на взаимодействието между различните заинтересовани страни – автошколи, изпитни центрове, изпитващи, автоинструктори и кандидати.

Първоначалният етап ще включва установяване на официални партньорства с автошколи в различни региони на страната, така че да се осигури географско разнообразие на извадката и да се избегне ограничаването на данните до специфични локални практики. За целта ще бъдат изпратени официални писма за сътрудничество, придружени с описание на целите на изследването, ползите за участващите организации и гаранциите за спазване на етичните норми.

Вторият логистичен етап ще бъде координацията с изпитните центрове, където реално се провеждат практическите изпити. Това сътрудничество е критично, тъй като ще позволи провеждането на наблюдения и, при възможност, симулирани изпитни ситуации в контролирани условия. Ще бъдат изготвени подробни инструкции и графици, които да съгласуват времето на изследователите с натовареността на изпитните комисии, за да не се нарушава нормалният работен процес.

Третият компонент на логистичната подготовка е разработването на подробен времеви план за целия процес – от пилотното тестване на инструментите, през събирането на данните, до окончателния анализ. В този план ще бъдат предвидени буферни периоди за възможни забавяния, свързани с административни процедури, трудности в набирането на участници или непредвидени обстоятелства (напр. лоши метеорологични условия, които биха забавили изпитите).

Четвъртият аспект е осигуряването на ресурсите – помещения за провеждане на интервюта и тестове, техника за аудио- и видеозапис (когато е разрешено), транспорт за изследователския екип и печатни или електронни версии на анкетите и тестовете. Ще се използват и цифрови платформи за дистанционно събиране на част от данните, което ще улесни участниците и ще намали риска от отпадане по организационни причини.

Накрая ще бъде въведен текущ мониторинг на логистичния план, гарантиращ навременна корекция и качествено преминаване към анализа на данните.

4. Предварителен аналитичен обзор и интерпретация на очакваните резултати

4.1. Предварителни изводи и формулиране на хипотези

На базата на извършения теоретичен анализ, прегледа на нормативната уредба и чуждестранния опит, както и професионалните наблюдения в български условия, могат да бъдат формулирани предварителни изводи относно основните

психологически фактори, оказващи влияние върху представянето на кандидатите за водачи по време на практическия изпит. Настоящият раздел обединява наличната научна и практическа информация с цел да очертае рамката на очакваните резултати от планираното емпирично проучване. По този начин се поставя основата за бъдеща верификация на хипотезите чрез реални данни, без да се представят непотвърдени заключения като вече доказани.

Психологическата напрегнатост при практическия изпит се проявява най-силно при първата категория, за която кандидатът се явява. В български условия това най-често е категория B, която има масово значение за личната мобилност и социалната реализация. Именно поради високата ѝ значимост изпитът се възприема като критичен момент, при който тревожността е максимално изразена и вероятността за грешки е по-голяма.

Практиката показва, че когато кандидатът вече притежава друга категория, нивото на психологическа напрегнатост е по-ниско. Натрупаният опит в изпитна ситуация създава усещане за контрол и увереност, което действа успокояващо и подпомага по-доброто представяне. Това подчертава, че първият практически изпит има специфична тежест и трябва да се разглежда като уникален психологически контекст.

Оттук следва, че ситуативната тревожност е ключов предиктор за успеха или неуспеха, но нейното влияние зависи от обстоятелството дали кандидатът се явява за първа категория или вече има изпитен опит. В този смисъл първичният изпит може да бъде определен като праг на психологическо натоварване, при който тревожността достига най-високи стойности и оказва най-силно въздействие върху крайния резултат.

Поради тази причина бъдещото изследване трябва да отчете категорията, за която кандидатът се явява, като съществена променлива. Това ще позволи по-прецизна интерпретация на данните и ще подпомогне формулирането на препоръки за психологическа подготовка, насочени най-вече към кандидатите, които за първи път се явяват на изпит за правоспособност.

Операционализация на показателите

За да бъде осигурена валидност и надеждност на планираното изследване, всяка от прогнозните зависимости ще бъде обвързана с конкретни измерими показатели:

1. *Ниво на ситуативна тревожност*

— Инструмент: Скала STAI (Spielberger et al., 1983), адаптирана за български условия.
— Показател: Сума от точките в подскалата за ситуативна тревожност, измерена непосредствено преди изпита (или симулацията).

2. *Локус на контрол*

— Инструмент: Тест на Rotter (1966).
— Показател: Индекс на вътрешен/външен локус, определен по стандартната методика.

3. *Използвани стратегии за справяне със стреса*

— Инструмент: Brief COPE (Carver, 1997).
— Показател: Относителен дял на активните стратегии спрямо избягващите стратегии.

4. Влияние на формулировката на инструкциите

— Инструмент: Наблюдателен протокол при симулирани изпитни ситуации с вариативни инструкции (напр. „първи изход“ срещу „надясно“).
— Показател: Процент успешно изпълнени маневри при различни формулировки.

5. Ефект от контролиран фон (музика или звукова среда)

— Инструмент: Симулационен тест с и без фонова стимулация.
— Показател: Разлика в средното време за реакция и броя на допуснатите грешки.

6. Професионално поведение на изпитващия

— Инструмент: Оценъчен чеклист, попълван от независим наблюдател.
— Показател: Среден бал на комуникативни и подкрепящи техники, приложени по време на изпита.

Таблица 1. Операционализация на показателите

Показател	Инструмент	Показател за измерване
Ниво на ситуативна тревожност	STAI (Spielberger et al., 1983) – адаптирана за България	Сума от точките в подскалата за ситуативна тревожност
Локус на контрол	Тест на Rotter (1966)	Индекс на вътрешен/външен локус
Използвани стратегии за справяне със стреса	Brief COPE (Carver, 1997)	Относителен дял на активните стратегии спрямо избягващите
Влияние на формулировката на инструкциите	Наблюдателен протокол при вариативни инструкции	Процент успешно изпълнени маневри при различни формулировки
Ефект от контролиран фон (музика/звукова среда)	Симулационен тест с и без фонова стимулация	Разлика във време за реакция и брой грешки
Професионално поведение на изпитващия	Оценъчен чеклист, попълван от независим наблюдател	Среден бал на комуникативни и подкрепящи техники

4.2. Методическа рамка на предложената психологическа подготовка

На основата на предварителните изводи и формулираните хипотези се предлага методическа рамка, която да служи като концептуално ръководство за интегриране на психологическа подготовка в процеса на обучение и изпитване на кандидатите за придобиване на правоспособност за управление на МПС. Рамката е съобразена както с особеностите на българската нормативна уредба, така и с утвърдени международни практики в области като управление на стреса, когнитивно-поведенческа подготовка и адаптивна комуникация.

Основни компоненти на методическата рамка:

Симулационно-базирано обучение – предвижда се разработване на кратки, целенасочени симулационни сценарии, които възпроизвеждат най-често срещаните стресови ситуации по време на практическия изпит. Това позволява на кандидатите да усвояват стратегии за контрол на емоциите и поддържане на концентрацията в контролирана среда.

Тренинг за управление на тревожността – включва прилагане на техники като диафрагмално дишане, прогресивна мускулна релаксация, автогенен тренинг и когнитивно преструктуриране. Целта е да се намали ситуативната тревожност и да се засили усещането за вътрешен контрол.

Психологическа оценка преди явяване на изпит – чрез стандартизирани инструменти (STAI, Rotter, Brief COPE) се установява психоемоционалният профил на кандидата. На база на оценката се изготвят индивидуални препоръки за укрепване на силните страни и преодоляване на слабостите.

Обучение на изпитващите по психологическа комуникация – предвижда се разработване на кратък модул за изпитващите, насочен към разпознаване и ефективно овладяване на признаци на тревожност при кандидатите, без компромис със стандарта на оценяване.

Интеграция в учебната програма на автошколите – препоръчва се психологическата подготовка да бъде структурирана в 2–3 модула по време на курса, които да се провеждат паралелно с техническите уроци.

Тази методическа рамка не замества техническата подготовка, а я допълва, като се фокусира върху развитието на умения за самоконтрол, емоционална устойчивост и ефективна комуникация. Очаква се прилагането ѝ да намали честотата на провалите, свързани с психологически причини, и да повиши процента на успешно преминалите практическия изпит кандидати.

4.3. Препоръки за внедряване и институционална подкрепа

Успешното прилагане на предложената методическа рамка изисква съгласувани действия между институциите, отговорни за подготовката и изпитването на водачи, както и активното участие на автошколите и професионалните организации. За да се гарантира устойчивост и ефективност на модела, се предлагат следните стъпки:

Нормативно осигуряване – Министерството на транспорта и Министерството на вътрешните работи следва да актуализират действащите наредби, като включат задължителна психологическа подготовка в учебно-изпитните програми за кандидатите за придобиване на правоспособност.

Разработване на стандартизирани учебни материали – необходимо е изготвянето на ръководства и учебни помагала по психология на шофирането, които да бъдат официално одобрени и разпространявани до всички лицензирани автошколи.

Сертифициране на инструктори и изпитващи – въвеждането на изискване за преминаване на кратък, но задължителен курс по психологическа подготовка за всички инструктори и изпитващи, с периодично опресняване на знанията (например на всеки две години).

Осигуряване на материално-техническа база – автошколите следва да разполагат с подходящи симулатори и аудио-визуални средства за провеждане на психологическите тренинги. За целта могат да се използват както национални, така и европейски програми за финансиране.

Пилотно въвеждане и оценка на ефективността – препоръчва се първоначално прилагане на модела в ограничен брой автошколи в различни региони на страната, последвано от анализ на резултатите и адаптация на методиката при необходимост.

Междуинституционално сътрудничество – създаване на работна група с представители на държавните органи, автошколите, университети с психологически катедри и неправителствени организации, работещи в сферата на пътната безопасност.

Чрез прилагането на тези препоръки се цели не само намаляване на неуспехите на практическия изпит по психологически причини, но и изграждане на трайна култура на безопасно и отговорно шофиране. Очаква се, че в дългосрочен план това ще доведе до подобряване на пътната безопасност и до намаляване на пътно-транспортните произшествия, свързани с човешки фактор.

Предложената рамка за изследване и интервенция представлява интегриран план за систематично оценяване и подобряване на психологическата готовност на кандидатите за водачи на МПС. Чрез съчетаването на теоретичния анализ, методическите насоки и институционалната подкрепа се създават предпоставки за ефективно приложение на планираното изследване в реални условия. Подготвителният характер на този етап гарантира, че бъдещата емпирична проверка ще стъпи върху ясно дефинирани хипотези, валидирани инструменти и стандартизирани процедури, което ще позволи получените резултати да имат висока научна и практическа стойност. Реализацията на модела в пълния му обем ще бъде възможна след осъществяването на емпиричната фаза и детайлната интерпретация на събраните данни, като очакванията са той да допринесе както за повишаване на успеваемостта на кандидатите, така и за подобряване на пътната безопасност в национален мащаб.

Заключение

Предварителният анализ на научните източници, нормативната рамка и чуждестранния опит очертава ясна връзка между психологическата подготовка на кандидатите за водачи и тяхното представяне на практическия изпит. Изградените хипотези предполагат, че целенасочената работа върху редуциране на ситуативната тревожност, формиране на вътрешен локус на контрол и развитие на активни стратегии за справяне със стреса би могла да доведе до повишаване на процента успешно издържани изпити.

Практическата стойност на предложената рамка е, че позволява психологическите явления в изпитната ситуация да бъдат превърнати в ясни показатели, които да подпомагат вземането на решения при обучение и контрол, без да се подменя техническата оценка. Прилагането на стандартизирани

процедури и частична автоматизация на регистрирането и обработката на данни може да повиши възпроизводимостта на оценяването и да намали влиянието на случайни комуникационни и ситуационни фактори върху резултата.

Въпреки това, валидността на тези предположения следва да бъде проверена чрез планираното емпирично проучване, което ще даде възможност за количествено измерване на ефектите и обективна оценка на предложените подходи. Очаква се, че получените резултати ще послужат за основа на конкретни нормативни и методически препоръки за интегриране на психологическата подготовка като системен елемент в обучението на водачи в България.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ГИБДД МВД России. Методические рекомендации по проведению психологической подготовки кандидатов в водители. Москва: ГИБДД, 2017.

[2] Димитров Д. Психология на ученето и преподаването. София: Сиела, 2010.

[3] Иванов И. Управление на вниманието и реакциите в условия на стрес. София: Акад. изд. „Марин Дринов“, 2012.

[4] Инструкция № 3 за организиране и провеждане на изпитите за придобиване на правоспособност за управление на МПС.

[5] Кузнецов А. А., Петров И. В., Сидоров М. Г. Психологическая подготовка водителей и её влияние на безопасность дорожного движения. Вестник транспортной психологии, 7(2), 15–22, 2019.

[6] Наредба № 37 от 02.08.2002 г. за условията и реда за обучение на кандидатите за придобиване на правоспособност за управление на моторни превозни средства.

[7] Наредба № 38 от 16.04.2004 г. за условията и реда за провеждане на изпитите на кандидатите за придобиване на правоспособност.

[8] Пономаренко В. А. Психология транспортной деятельности. Москва: Юрайт, 2020.

[9] Христозов Й. Автомобилна подготовка и поведение в критични ситуации. Русе: Русенски университет, 2015.

[10] Щетински Б., Паспаланов И. Стандартизиране на въпросника за тревожност STAI. Психологическа мисъл, 1, 62–72, 1989.

[11] Ajzen I. The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179–211, 1991.

[12] Beck A.T. Cognitive Therapy and the Emotional Disorders. New York: International Universities Press, 1976.

[13] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV). Berlin: BMJV, 2019.

[14] Carver C.S. You want to measure coping but your protocol’s too long: Consider the Brief COPE. International Journal of Behavioral Medicine, 4(1), 92–100, 1997.

[15] Carter N., Wilson G., Clegg B. The effect of background music on driving performance. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 47, 68–85, 2017.

[16] CBR – Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen. Psychological preparation for driving tests. Rijswijk: CBR Publications, 2020.

[17] Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen (CBR). Psychological Fitness and Driving Tests. Utrecht, Netherlands, 2020.

[18] Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA). Driving test marking and assessment: guidance for examiners. London: DVSA, 2020.

[19] Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA). Graduated Driver Licensing Framework. London: Department for Transport, 2020.

[20] European Commission. Fitness to Drive Guidelines. Brussels: EC, 2022.

[21] Evans D., Norman P. Predicting adolescent driving behaviour from intentions: The moderating effects of gender. Journal of Applied Social Psychology, 33(12), 2608–2624, 2003.

[22] Evers A., Tomic W., Brouwers A. Burnout among teachers: Students' and teachers’ perceptions compared. School Psychology International, 22(3), 349–360, 2001.

[23] Fuller R. Towards a theoretical understanding of driver behaviour. Accident Analysis & Prevention, 37(3), 461–470, 2005.

[24] Japan Automobile Federation (JAF). Driver education and cognitive load management. Tokyo: JAF Research Center, 2019.

[25] Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. New York: Springer Publishing, 1984.

[26] McKenna F.P., Horswill M.S. Risk-taking and accident involvement in novice drivers. British Journal of Psychology, 97(3), 321–340, 2006.

[27] McKnight A.J., McKnight A.S. Young novice drivers: Careless or clueless? Accident Analysis & Prevention, 35(6), 921–925, 2003.

[28] Meichenbaum D. Stress inoculation training: A preventative and treatment approach. In Lehrer P.M., Woolfolk R.L., Sime W.E. (Eds.), Principles and Practice of Stress Management. Guilford Press, 2007.

[29] Ministry of Transportation Ontario (MTO). Stress-adaptive driver testing protocol. Toronto: MTO, 2020.

[30] Nordfjærn T., Şimşekoğlu Ö. The role of driver training in reducing traffic crashes. Safety Science, 66, 16–24, 2014.

[31] OECD/ITF. The Safe System Approach in Road Safety. Paris: International Transport Forum, 2018.

[32] Patton M.Q. Qualitative Research and Evaluation Methods (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2002.

[33] Reason J. Managing the Risks of Organizational Accidents. Farnham: Ashgate, 2016.

[34] Rotter J.B. Generalized expectancies for internal versus external control of reinforcement. Psychological Monographs: General and Applied, 80(1), 1–28, 1966.

[35] Spielberger C.D., Gorsuch R.L., Lushene R.E. Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (STAI). Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1983.

[36] Statens vegvesen. Deep learning sessions in driver education. Oslo: Norwegian Public Roads Administration, 2020.

[37] Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive Science, 12(2), 257–285, 1988.

[38] Trafikverket. Driver Education in Sweden – Guidelines for Stress Management Training. Stockholm: Swedish Transport Administration, 2021.

[39] VicRoads. Drive Test Criteria and Guidelines. Melbourne: VicRoads Safety Division, 2021.

[40] VicRoads. Psychological readiness assessment in driver licensing. Melbourne: VicRoads Safety Division, 2021.

МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ЛИНЕЙНИ СТАЦИОНАРНИ СИСТЕМИ В ОБЛАСТТА НА ВРЕМЕТО И ЧЕСТОТАТА

Ана-Мария А. Горанова, Зейда О. Рамадан

MODELING AND ANALYSIS OF LINEAR STATIONARY SYSTEMS IN THE TIME AND FREQUENCY DOMAINS

Ana-Mariya A. Goranova, Zeyda O. Ramadan

ABSTRACT: *Linear stationary systems (LSS) occupy a central place in signal theory and find wide application in communications, control and digital signal processing. This paper reviews the basic principles of modeling and analysis of linear stationary systems in both the time and frequency domains. The mathematical models, the main characteristics and the relationship between the two analysis approaches are presented. A comparison between time and frequency analysis is made in order to highlight their advantages and limitations in practical application.*

KEYWORDS: *Linear station systems, Communication, Digital signals, Processing*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25AMZ

1. Въведение

Линейните стационарни системи представляват фундаментален клас системи, използвани за описание и анализ на широк кръг физически и инженерни процеси. Те се срещат в електрическите вериги, механичните системи, акустиката, телекомуникациите и биомедицинската обработка на сигнали. Основното им предимство е възможността за аналитично описание чрез сравнително прости математически модели. Свойствата линейност и времева инвариантност позволяват значително опростяване на анализа на системите. Линейността осигурява валидността на принципа на суперпозицията, а стационарността гарантира, че характеристиките на системата не зависят от абсолютния момент на време. Това прави възможно обобщаването на поведението на системата за произволни входни сигнали. В теорията на сигналите анализът на ЛСС се извършва основно в две области – времева и честотна. Всеки от тези подходи предлага различна перспектива за изследване на поведението на системата и предоставя специфична информация, която е полезна при решаване на различни инженерни задачи. Целта на настоящия доклад е да представи основните методи за моделиране и анализ на линейни стационарни системи в двете области, както и да изясни връзката между тях. Акцентът е поставен върху теоретичните аспекти и тяхното значение за практическите

приложения. На фиг. 1 са показани методите за анализ на линейни стационарни системи. [5], [8]



Фиг. 1. *Методи за анализ на линейни стационарни системи*

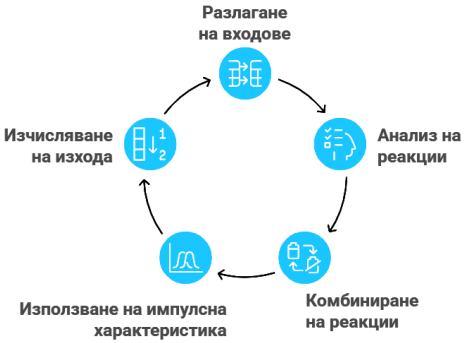
2. Теоретични основи на линейните стационарни системи

Линейната система се характеризира със свойството, че реакцията ѝ на линейна комбинация от входни сигнали е равна на съответната линейна комбинация от реакциите към всеки сигнал поотделно. Това свойство е ключово за анализа и синтеза на сложни системи, тъй като позволява разлагане на сложни входове на по-прости компоненти. Времевата инвариантност означава, че ако входният сигнал бъде изместен във времето, изходният сигнал ще бъде изместен със същото времево отместване, без промяна във формата си. Това свойство гарантира постоянство на характеристиките на системата и е предпоставка за използване на универсални аналитични методи. Централно място в теорията на ЛСС заема импулсната характеристика, която описва реакцията на системата при подаване на единичен импулс. Импулсната характеристика съдържа пълна информация за динамиката на системата и позволява определяне на изходния сигнал за произволен вход. Чрез операцията на сверка между входния сигнал и импулсната характеристика може да се изчисли изходът на системата във времевата област. Това прави импулсната характеристика универсален инструмент за анализ и основа за връзката между времевия и честотния подход. Допълнително важно свойство на линейните стационарни системи е свързано с понятието за устойчивост, което определя дали системата реагира ограничено при ограничен входен сигнал. Устойчивостта често се анализира чрез свойствата на импулсната характеристика или чрез разположението на полюсите на системната функция в комплексната равнина. Това свойство е от съществено значение при практическото приложение на ЛСС, тъй като гарантира надеждната и предсказуема работа на реалните системи. На фиг. 2 е показан цикъл на анализ на линейна система. [1], [8], [9]

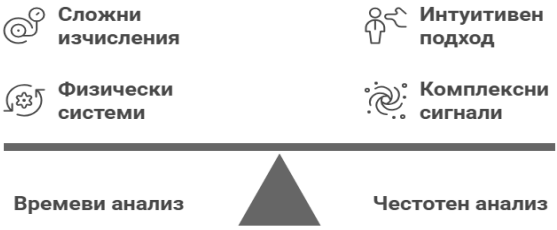
3. Моделиране и анализ в областта на времето

Моделирането на линейни стационарни системи във времевата област обикновено се извършва чрез диференциални уравнения за непрекъснати системи или разносни уравнения за дискретни системи. Тези уравнения описват зависимостта между входните и изходните величини във времето. Диференциалните уравнения позволяват анализ на динамичните свойства на системата, като преходни процеси, устойчивост и времева реакция. Те са особено

подходящи за физически системи, при които съществува пряка връзка между сигналите и техните производни. Основен метод за изчисляване на изходния сигнал във времевата област е операцията на сверка. Чрез нея се отчита влиянието на всяка моментна стойност на входа върху изхода, което позволява детайлен анализ на времевото поведение на системата. Въпреки предимствата си, времевият анализ често води до сложни изчисления, особено при сигнали с комплексна форма. Това налага използването на алтернативни методи, като честотния анализ, който в много случаи предлага по-интуитивен и ефективен подход. Освен аналитичните методи, времевият анализ често се подпомага от числени и симулационни подходи, особено при сложни системи, за които затворено аналитично решение е трудно постижимо. Чрез използване на софтуерни среди като MATLAB или Python могат да се изследват времевите реакции на системата при различни входни въздействия, което улеснява анализа на преходни процеси и валидирането на теоретичните модели. На фиг. 3 е показа схема на избор на подходящ метод за анализ на система. [3], [6]



Фиг. 2. *Цикъл на анализ на линейна система*



Фиг. 3. *Избор на подходящ метод за анализ на система*

4. Анализ в честотната област

Честотният анализ на линейните стационарни системи се базира на преобразувания, които представят сигналите като сума от синусоидални компоненти. Най-често използвани са Фурие, Лапласовото и Z-преобразованието, в зависимост от типа на сигналите и системите. В честотната

област поведението на системата се описва чрез нейната честотна характеристика, която показва как системата влияе върху амплитудата и фазата на различните честотни компоненти. Това позволява бърза оценка на филтриращите свойства на системата. Едно от основните предимства на честотния анализ е, че операцията на свертка във времето се превръща в умножение в честотната област. Това значително опростява анализа и проектирането на системи, особено при сложни входни сигнали. Честотният подход е широко използван при проектиране на филтри, усилватели и комуникационни канали. Той предоставя ясна представа за спектралното поведение на системата, но не винаги дава пълна информация за времевите характеристики на сигнала. Таблица 1 обобщава основните преобразования, използвани при честотния анализ на линейни стационарни системи, като подчертава тяхната приложимост спрямо типа сигнал и целта на анализа. Изборът на конкретно преобразование зависи от характера на системата и изследвания проблем, като Фурие преобразованието е подходящо за спектрален анализ, а Лапласовото и Z-преобразованието предоставят допълнителна информация за устойчивостта и динамичните свойства на системата. Това разнообразие от методи позволява гъвкав и ефективен анализ на линейните стационарни системи в честотната област. [2], [7]

Таблица 1. *Основни преобразования при анализ на линейни стационарни системи в честотната област*

Преобразование	Тип сигнал	Основна цел	Характеристика на системата
Преобразование на Фурие	Непрекъснат, периодичен и непериодичен	Спектрален анализ	Честотна характеристика
Дискретно преобразование на Фурие	Дискретен	Числен спектрален анализ	Дискретен честотен спектър
Преобразование на Лаплас	Непрекъснат	Анализ на устойчивост и преходни процеси	Предавателна функция
Z-преобразование	Дискретен	Анализ на дискретни системи	Системна функция

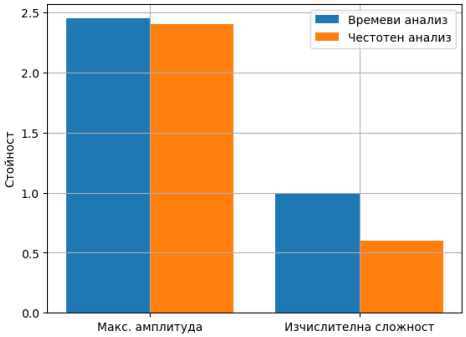
5. Сравнение между времевия и честотния анализ

Времевият анализ е особено полезен при изследване на преходни процеси и реакции на системата при внезапни промени на входа. Той позволява директно наблюдение на поведението на сигнала във времето и е интуитивен при физическа интерпретация. Честотният анализ, от своя страна, предоставя информация за спектралното съдържание на сигналите и начина, по който системата влияе върху различните честоти. Това го прави предпочитан метод при анализ на периодични и квазипериодични сигнали. Всеки от двата подхода има своите ограничения. Времевият анализ може да бъде изчислително сложен,

докато честотният анализ може да скрие локални времеви особености на сигнала. Поради тази причина в практиката често се използва комбиниран подход, при който времевият и честотният анализ се допълват взаимно. Това осигурява по-пълно и точно описание на поведението на линейните стационарни системи. Сравнението между времевия и честотния анализ показва, че двата подхода не са конкуриращи се, а взаимно допълващи се методи за изследване на линейни стационарни системи. Докато времевият анализ осигурява детайлна информация за преходните процеси и моментните реакции на системата, честотният анализ позволява по-ефективно описание на спектралните свойства и филтриращото поведение на системата. Комбинираното използване на двата подхода води до по-пълно разбиране на динамиката на системата и е предпочитан подход при анализа и проектирането на съвременни сигнални системи. Таблица 2 и фиг. 4 показват сравнение на резултати от времеви и честотен анализ на линейна стационарна система. [4], [9]

Таблица 2. *Сравнение на резултати от времеви и честотен анализ на линейна стационарна система*

Показател	Времеви анализ	Честотен анализ
Максимална амплитуда на изхода	2, 45	2, 40
Време на нарастване (s)	0, 18	–
Време на установяване (s)	0, 45	–
Преходно пренапрежение (%)	12, 5	–
Основна честота (Hz)	–	50
Ширина на честотната лента (Hz)	–	120
Затихване при 100 Hz (dB)	–	-18
Изчислителна сложност (отн. единици)	1, 0	0, 6



Фиг. 4. *Сравнение между времеви и честотен анализ*

6. Заключение

Линейните стационарни системи представляват основен инструмент за анализ и моделиране в теорията на сигналите. Техните свойства позволяват

използването на универсални и ефективни аналитични методи. Времевият анализ осигурява детайлна информация за динамичното поведение на системите, докато честотният анализ разкрива техните спектрални характеристики. Всеки от тези подходи има специфични предимства и приложения. Комбинираното използване на двата метода води до по-добро разбиране на системите и позволява по-ефективно проектиране и оптимизация на реални инженерни решения. В заключение може да се отбележи, че моделирането и анализът на линейни стационарни системи остават ключов елемент в съвременната теория и практика на обработката на сигнали.

ЛИТЕРАТУРА

[1] 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.

[2] Станева Л. А., Цанков Ц. С. Компютърна лаборатория за синтез на сложни дискретно честотни сигнали. Научна конференция MATTEX 2012, Шумен, 2012, ISSN 1314-3921.

[3] Denev D., Tsankov Ts. Synthesis and analysis of linear, discrete and time-invariant systems, used in the field of communications, using MATLAB and signal processing toolbox. Journal scientific and applied research, vol. 22, 2022, ISSN 1314-6289, pp. 72-80.

[4] Denev D., Analysis of a Steganographic Method for Hiding One Image in Another Image Using MATLAB and Image Processing Toolbox, 2021, Journal scientific and applied research, vol. 21, International Journal, ISSN 1314-6289, pp. 80-86.

[5] Denev D., Analytical Study of the Delay Introduced as a Result of Encryption/Decryption of Voice Transmitted over a VPN Networks, 2021, Journal scientific and applied research, vol. 20, International Journal, ISSN 1314-6289, pp. 73-77.

[6] Denev D., Tsankov Ts., A Survey of Data Quality in Digital Processing of Acoustic Signals, 2022, International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), Veliko Tarnovo Bulgaria, ISBN 978-1-6654-9149-5, DOI 10.1109/CIEES55704.2022.9990685.

[7] Keranova M., Petrov I., Denev D., The Theory of Signals and its Application in the Monitoring and Control of Space Debris, 2025, Proceedings of Scientific Conference "Near Space - a Common Goal", National Military University "Vasil Levski", Veliko Tarnovo, vol 3, ISSN 2815-3510 Print, pp. 35-46.

[8] Ivanov V Research of a parallel oscillating scheme in simulink. Annual of Assen Zlatarov University, Burgas, Vol. LI, Book 1, 2022, ISSN 2603-3968.

[9] Ivanov V. Research of autonomous low power supply system. Annual of Assen Zlatarov University, Burgas, Vol. L, Book 1, 2021, ISSN 2603-3968.

АЛГОРИТМИЧНА И ВЕРОЯТНОСТНА РАМКА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА, АЛАРМИРАНЕ И РЕАКЦИЯ В РОБОТИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА ЗАЩИТА, ИЗПОЛЗВАЩИ ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Силвия Х. Николова

AN ALGORITHMIC AND PROBABILISTIC FRAMEWORK FOR RISK MANAGEMENT, ALERTING AND RESPONSE IN ROBOTIC PROTECTION SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Silvia H. Nikolova

ABSTRACT: *This paper presents an algorithmic and probabilistic framework for risk management, alerting and response in intelligent robotic protection systems using artificial intelligence. The developed approach is aimed at ensuring reliable protection and monitoring of high-risk territories, including areas affected by underground mining, characterized by complex geotechnical, environmental and anthropogenic risks. The framework integrates multisensor data from unmanned aerial vehicles, robotic ground platforms, stationary IoT sensors and satellite observations, applying methods for data fusion, anomaly detection and dynamic risk assessment. Quantitative models, including a risk matrix, Bayesian methods for updating probabilities and optimal control algorithms, modeled as a finite state machine and a Markov decision process (MDP), are used to formalize the decision-making process.*

KEYWORDS: *Intelligent protection systems, Risk management, Risk matrix, Artificial intelligence, Robotic systems, Multisensor integration, Alarm and response*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25SIS

Въведение

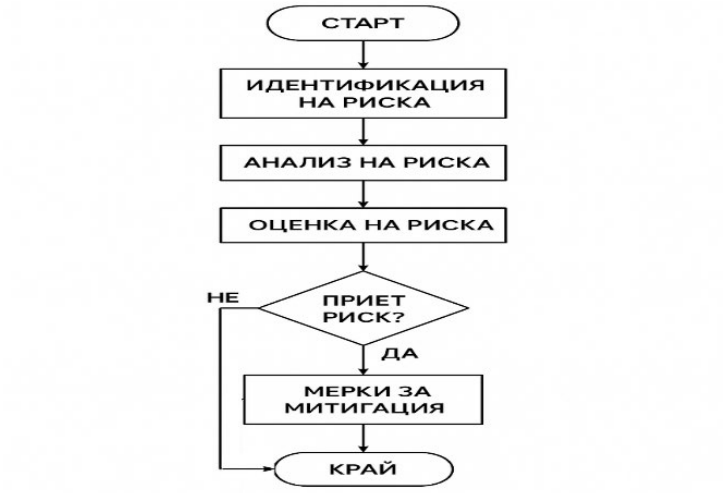
Развитието на роботизираните системи и технологиите за изкуствен интелект създава нови възможности за ефективна защита и мониторинг на територии, характеризиращи се с повишен риск. Особено уязвими са зоните, засегнати от подземен рудодобив, където съществуват комплексни геотехнически, екологични и антропогенни заплахи, включително срутвания, пропадания, газови емисии, незаконен достъп и вторично замърсяване [2], [3]. Традиционните методи за наблюдение и охрана често са недостатъчни поради ограничена пространствена покриваемост, забавена реакция и зависимост от човешкия фактор.

В този контекст възниква необходимостта от интелигентни системи за защита, които да интегрират мултисензорни данни, автономни роботизирани платформи и алгоритми за вземане на решения в условия на несигурност. Управлението на риска се превръща в централен елемент, тъй като ефективната защита изисква не само откриване на заплахи, но и тяхната количествена оценка, приоритизация и избор на адекватна реакция в реално време, в съответствие с международни стандарти за управление на риска. [4], [5], [10]

Настоящата статия предлага алгоритмична и вероятностна рамка за управление на риска, алармиране и реакция в роботизирани системи за защита, използващи изкуствен интелект. Рамката се основава на интеграция на данни от безпилотни летателни апарати (UAV), роботизирани наземни платформи (UGV), стационарни IoT сензори и сателитни наблюдения, като се прилагат методи от вероятностната роботика и интелигентното видеонаблюдение. Чрез прилагане на матрица на риска, вероятностни модели и формални методи за управление на процесите се осигурява адаптивен и устойчив механизъм за вземане на решения, насочен към предотвратяване на инциденти и минимизиране на техните последствия. [7], [11]

Алгоритмична и вероятностна рамка за управление на риска

Управлението на риска в разглежданата система се реализира чрез комбиниран подход, който съчетава детерминистични алгоритми и вероятностни модели, широко използвани в анализа на сложни системи. Основният показател за оценка на риска е произведение между вероятността за възникване на събитие и тежестта на последствията (фиг. 1). [3], [6], [9]



Фиг. 1. *Алгоритъм за оценка на риска*

Вероятността за настъпване на инциденти се актуализира динамично чрез анализ на мултисензорни данни и байесови методи, което позволява отчитане на нова информация и намаляване на неопределеността [16]. Алгоритми за детекция на аномалии, базирани на машинно обучение, идентифицират отклонения от нормалното поведение на наблюдаваната среда [14], [7]. На тази основа системата извършва количествена оценка на риска и преминава към съответното ниво на алармиране и реакция.

1. Логическо описание на алгоритъма.

Алгоритъмът реализира затворен цикъл (sense–analyze–decide–act–learn) за управление на риска в охраняваните територии територии, концептуално свързан с теорията за ситуационната осведоменост и адаптивното управление [1].

Вход – получава данни от UAV (видео, LIDAR, термовизия), UGV (газ, видео, проби), IoT сензори (вибрации, газ, вода), сателитни изображения. Освен това системата получава исторически данни за праговете на риск.

Изход – на изхода се оценява нивото на риска и типа на алармата. Използвайки набор от контрамерки, системата подава команда за необходимата реакция.

2. Основен алгоритъм стъпка по стъпка. Събирането и обработката на данни от UAV, UGV, IoT и сателити следва принципите на мултисензорна интеграция и вероятностна оценка [16], [17]. Детекцията на аномалии се осъществява чрез AI модели, използващи съвременни архитектури за видеоанализ и обектна детекция [14].

***Стъпка 1: Събиране на данни (D)* -** системата периодично или при събитие събира мултисензорни данни от радар, лидар, сателити, видео с ИИ, сензори.

$$D=\{D_{UAV}+D_{UGV}+D_{IoT}+D_{SAT}\} \quad (1)$$

Стъпка 2: Предварителна обработка – включва филтриране на шум, синхронизация по време, проверка за валидност.

Стъпка 3: Детекция на аномалии – на този етап моделите с ИИ определят дали има наличие на аномалия:

$$A=f_{AI}(D) \quad (2)$$

Ако A=0 → връщане към мониторинг.
Ако A=1→ преминаване към оценка на риска.

***Стъпка 4: Оценка на риска* -** изчислява се рискът и неговата вероятност за поява в системате.

Стъпка 5: Класификация по матрица на риска

Рискът се картографира в 5×5 матрица:

- R∈C → нисък риск
- R∈B → среден риск
- R∈A → висок риск
- R∈A+ → критичен риск

Стъпка 6: Алармиране - Активира се аларма според нивото на риск. С – информационна, В – предупредителна, А - оперативна, А+ - аварийна.

Стъпка 7: Избор на контрамерки - Избира се оптимален набор от действия и реакция

Стъпка 8: Обучение и адаптация - Резултатите се използват за корекция на прагове; намаляване на фалшиви аларми; подобряване на ИИ моделите.

Матрица на риска, алармиране и контрамерки

Матрицата на риска изпълнява ролята на централен механизъм за вземане на решения в системата. В зависимост от полученото ниво на риск се активира многостепенен механизъм за алармиране, включващ информационно, предупредително, оперативно и аварийно ниво. Всяко ниво е свързано с конкретен набор от контрамерки и реакции (табл.1). [6], [4], [12]

Таблица 1. *Връзка с матрицата на риска*

Ниво риск	Матрица	Аларма	Контрамерки	Реакция
Нисък	С	Информационна	Няма	Мониторинг
Среден	В	Предупредителна	Подготвителни	Засилен контрол
Висок	А	Оперативна	Активни	Намеса
Критичен	А+	Аварийна	Максимални	Интервенция

При ниски нива на риск системата функционира в режим на стандартен мониторинг и пасивно наблюдение. При среден риск се активира засилен контрол и допълнително събиране на данни чрез UAV. Високите нива на риск водят до оперативна намеса, включваща използване на UAV и UGV за детайлна инспекция, ограничаване на достъпа до зоната и непрекъснат контрол. При критичен риск системата задейства аварийни протоколи, изолация на засегнатата зона и автоматично уведомяване на отговорните институции.

Методология за оценка на риска

Оценката на риска представлява систематичен процес за количествено и качествено определяне на вероятността и последствията от потенциални инциденти в сложни охранителни и мониторингови среди [3]. В интелигентните системи за защита – особено в райони с геотехнически опасности като подземен рудодобив, свличания или пропадания – рискът се определя чрез комбинация от статистически модели, вероятностни зависимости и динамична мултисензорна обработка.

Следващите модели се използват паралелно, за да се получи максимално надеждна и адаптивна оценка.

Базова формула за риск

$$R = P \times C, \tag{3}$$

където:

— **P** – вероятност за настъпване на инцидент (напр. земно срутване, сензорна повреда, проникване в охранявана зона),

— **C** – тежест на последствията (материални щети, прекъсване на операции, загуби на оборудване, опасност за човешки живот).

Този подход служи като фундаментален индикатор за първоначална оценка. В интелигентните системи той се използва като „базова линия“, върху която по-късно се наслагват по-сложни вероятностни модели. Например при риск от пропадане на терен, което може да застраши автономно UGV патрулиращо превозно средство, P може да се оцени от исторически данни и сензорни измервания, а **C** – като стойност на щетите и риска за реагиращите единици.

Модел на Пуасон за редки геотехнически събития

$$P = 1 - e^{-\lambda t} \tag{4}$$

Моделът на Пуасон се използва при събития, които са редки, но с потенциално тежки последствия – например внезапни свличания, прориви на подземни кухини или аварийни вибрации.

— **λ** – интензитет на събитията (среден брой случвания за единица време),

— **t** – период на наблюдение.

Този модел е подходящ за инфраструктури, където историческите данни са добре документирани, а инцидентите следват приблизително случайно разпределение. В системата за защита една IoT мрежа от сензори може непрекъснато да актуализира λ, което прави оценката динамична, а не статична.

Очаквана годишна загуба (EAL)

$$EAL = \sum_i C_i P_i \tag{5}$$

EAL (Expected Annual Loss) измерва очакваната средногодишна стойност на щетите от различни типове инциденти. Всеки риск категория i (например: свличане, газова емисия, отказ на камера, проникване) има собствена вероятност P_i и последствия C_i.

Този показател позволява на проектантите на охранителни системи да определят какъв бюджет трябва да се отдели за превенция, кои зони са най-скъпи за обезопасяване, както и кои инциденти водят до най-големи натрупани финансови загуби. EAL предоставя икономически измерима стойност на риска.

Метод CEL/3F

Класическият метод CEL оценява риска чрез три фактора:

$$R_{CEL} = C \times E \times L, \tag{6}$$

където:

— **C** – последствие (severity),

— **E** – експозиция (exposure) – честота на контакта със заплахата,

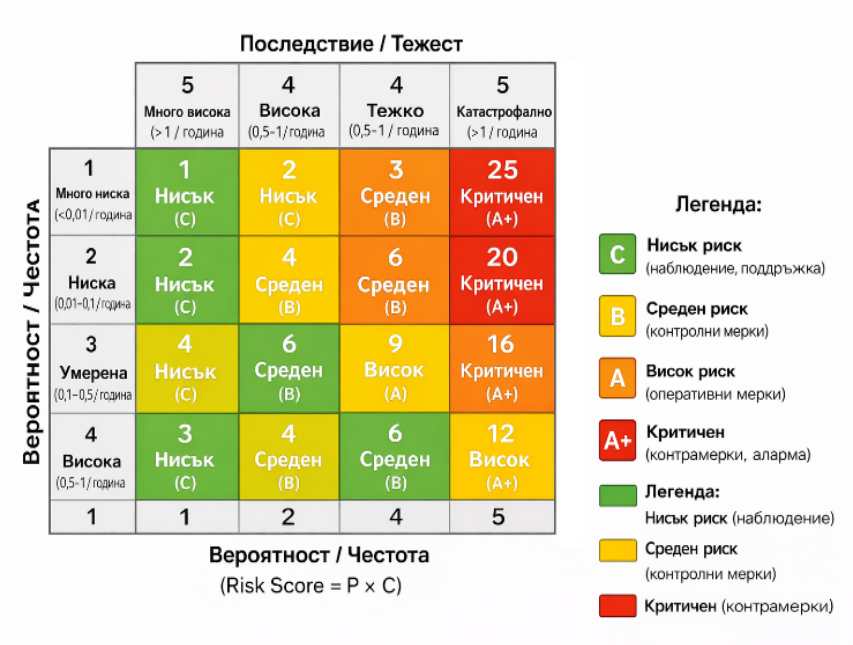
— **L** – вероятност (likelihood).

В контекста на интелигентните охранителни системи методът се прилага например за: оценка на UGV/дрон операции в нестабилни терени; анализ на експозицията на AI камери към атмосферни или вибрационни смущения.

CEL/3F позволява човешки и технически фактори да се комбинират в единна рамка, което е особено важно при хибридни автономни системи, където взаимодействат хора, роботи и сензори.

Матрична оценка на риска

Матричният метод позволява класифициране на риска по скала според два измерения: вероятност и последствия (фиг. 2).



Фиг. 2. *Матрица на риска*

Типичната матрица е 3×3 или 5×5 и генерира четири основни категории:

— нисък риск – не изисква специални мерки;

— среден риск – препоръчва се периодична корекция или мониторинг;

— висок риск – необходимо е техническо или организационно намаляване;

— критичен риск – изисква незабавни мерки, евакуация или промяна в архитектурата на системата.

В интелигентните системи риск-матрицата често се визуализира автоматично в софтуерни платформи за мониторинг, които се актуализират от:

— AI камери (детекция на пропадане, дим, движение),

— сензори за газове,

— вибрационни и акустични IoT сензори,

— дронове с LiDAR и термовизия.

Това позволява динамично „преместване“ на даден риск към по-висока или по-ниска категория.

Байесова актуализация при мултисензорни системи

Байесовият подход позволява динамична актуализация на вероятността за дадено събитие, когато нови данни постъпват от множество сензори [16]. Този метод е особено ефективен в следните случаи:

— обединяване на данни от дронове, AI камери и IoT сензори,

— минимизиране на фалшиви аларми при движение, вибрации или газове,

— изграждане на „доверие“ към даден сензор според неговата историческа точност,

— комбиниране на противоречиви показания (например камера отчита движение, но LiDAR – не).

Контрамерки, аларма и реакция в интелигентна система за защита

1. Принцип на действие – системата реализира многостепенен механизъм за управление на инциденти [2], [4], при който всяко събитие се:

- детектира чрез мултисензорна интеграция;
- оценява чрез количествен модел и матрица на риска;
- класифицира по ниво на критичност;
- активира съответен набор от аларми и контрамерки;
- реализира реакция в реално време.

Интеграцията на UAV и UGV за инспекция и реакция е в съответствие със съвременните тенденции за използване на автономни платформи в рискови среди. [13], [17]

2. Нива на алармиране – след постъпване на всички данни и оценка на ситуацията, системата класифицира различни нива на заплаха, а от там се определят и нивата на алармиране (фиг. 3).

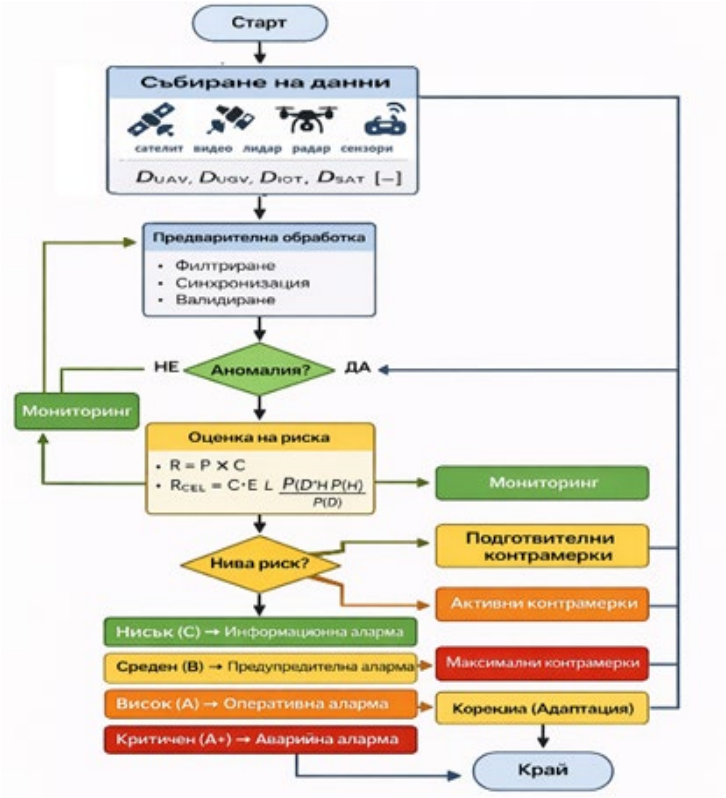
Ниво 0 – това е информационно ниво с нисък риск за охранителната система, С). Условията за неговото определяне са ниска вероятност и минимални последствия и стабилни сензорни показания. Няма аларма, а само логване в системата и визуалният индикатор е ССМ (зелено ниво). Предвидена реакция: рутинен мониторинг; планирана проверка; без активни контрамерки.

Ниво 1 – Предупредително ниво (Среден риск, В). Условията са регистрирани аномалии с тенденция към влошаване. Алармиращото събитие е автоматично уведомяване на оператор с жълт код в командния център и известие. Реакция: активиране на допълнителни UAV мисии; повишена честота на IoT измервания; локален анализ от ИИ; подготовка на UGV за инспекция.

Ниво 2 – Оперативно (Висок риск, А). Условия: доказана аномалия (газ, деформация, нерегламентиран достъп); риск за инфраструктурата или хората. Аларма: звукова и визуална аларма в ССМ; автоматичен доклад; червено-оранжев код. Предприетите контрамерки включват: насочване на UAV към зоната; изпращане на UGV за инспекция/проба; ограничаване на достъпа; активиране на физически бариери; преконфигуриране на мисии. Нужната реакция е оперативна

намеса с непрекъснат видео и сензорен контрол, както и оповестяване на реагиращи екипи при нужда.

Ниво 3 – Критично (Критичен риск, A+). Това ниво се активира при много висок риск от инцидент с потенциални катастрофални последици. Необходимо е потвърждение от няколко независими сензорни източника. Действието на системата в този случай е незабавна аварийна аларма и автоматично известяване на ръководство, реагиращи служби и регулаторни органи. В централната станция се подава червен код. Контрамерките, които се предприемат включват пълна изолация на зоната с автоматично изключване на системи. Активират се аварийни протоколи под непрекъснато сателитно и дроново наблюдение за защита на критичната инфраструктура. Последващата реакция в най тежкия случай е евакуация (ако е приложимо) в едно с аварийни инженерни интервенции. При екологичен риск следва и публично оповестяване. След такава ситуация е задължителен анализ на инцидента (post-event analysis).



Фиг. 3. *Управление на инциденти в мултисензорна интелигентна система*

Интелигентна реакция и формални модели

Процесът на управление на риска и реакция е формализиран чрез крайноавтоматен модел и Марков процес на вземане на решения. Тези формални модели позволяват систематично описание на състоянията, действията и преходите между тях, както и оптимизация на избора на контрамерки [15]. Чрез използване на Маркови модели системата може да минимизира очакваната загуба, като балансира между риска от инциденти и разходите за реакция.

Изкуственият интелект играе ключова роля в адаптацията на системата, като позволява самообучение, оптимизиране на праговете за алармиране и подобряване на точността на прогнозиране [8]. По този начин системата преминава от реактивен към проактивен режим на защита.

Заключение

В доклада е представена алгоритмична и вероятностна рамка за управление на риска, алармиране и реакция в роботизирани системи за защита, използващи изкуствен интелект. Предложеният подход интегрира мултисензорни данни, автономни роботизирани платформи и формални модели за вземане на решения, което позволява ефективно управление на сложни и динамични рискови среди.

Основното предимство на разработената рамка е нейната адаптивност и устойчивост при наличие на несигурност. Чрез използване на матрица на риска, вероятностни методи и интелигентни алгоритми системата осигурява навременно алармиране, оптимален избор на контрамерки и адекватна реакция при различни сценарии на заплаха. Това я прави подходяща за приложение в защита на пострудодобивни територии и други критични инфраструктури.

В бъдещи изследвания рамката може да бъде разширена чрез внедряване на частично наблюдаеми Маркови процеси, дълбоко обучение за прогнозиране на рискове и мащабиране към национални и трансгранични системи за мониторинг и защита [15]. Резултатите показват, че интегрираният алгоритмично-вероятностен подход допринася за повишаване на устойчивостта и ефективността на роботизираните системи за защита, като осигурява проактивно предотвратяване на инциденти и минимизиране на техните последствия.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Endsley M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Human Factors, Vol. 37, No. 1, SAGE Publications, 1995, ISSN 0018-7208, pp. 32–64.

[2] Garcia M. L. Design and Evaluation of Physical Protection Systems. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008, ISBN 978-0-7506-8352-4.

[3] Haimes Y. Y. Risk Modeling, Assessment, and Management. John Wiley & Sons, Hoboken, 2016, ISBN 978-1-118-32741-1.

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

[5] ISO/IEC 27005:2018. Information security risk management. International Organization for Standardization, Geneva, 2018.

[6] Kaplan S., Garrick B. J. On the quantitative definition of risk. Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, Wiley, 1981, ISSN 0272-4332, pp. 11–27.

[7] Nikouei S. Y., Chen Y., Song S., Xu R., Choi B. Y. Intelligent surveillance as an edge network service: From Haar cascades to deep learning. IEEE Communications Magazine, Vol. 56, No. 10, IEEE, 2018, ISSN 0163-6804, pp. 127–133.

[8] Nikolova S. Design, development and research of process efficiency in a robotic intelligent security system "TEDI". KNOWLEDGE – International Journal Scientific Papers, Vol. 63.3, Institute of Knowledge Management, Skopje, 2024, ISSN 2545-4439, pp. 289–295.

[9] Stoyanov A., Kazakov S., Kodzheykova V. Algorithm of operational risk assessment of Bulgarian posts PLC. Journal scientific and applied research, USA, EBSCO, Volume 23, 2022, pp. 105-113, ISSN 1314-6289.

[10] Arabadzhieva-Kalcheva N., Tsankov Ts. Failure Modes and Effects Analysis – FMEA. Scientific Conference with international participation MATTEH 2022, Conference proceeding, Vol. 2, Shumen, 2022, ISSN 1314-3921, pp. 58-62.

[11] 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 proceeding, vol. 2, Shumen, 2024, ISSN 1314-3921, pp. 147-152.

[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.

[13] Узунов Р. Д., Цанков Ц. С. Програма за оценка на критичната инфраструктура на общинско ниво. Национална конференция с международно участие „40 години Шуменски университет 1971-2011", Шумен, 2011, ISBN 978-954-577-620-5.

[14] Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2016, ISBN 978-1-4673-8851-1, pp. 779–788.

[15] Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. 2nd ed., MIT Press, Cambridge, 2018, ISBN 978-0-262-03924-6.

[16] Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. MIT Press, Cambridge, 2005, ISBN 978-0-262-20162-9.

[17] Zhang C., Kovacs J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. Precision Agriculture, Vol. 13, No. 6, Springer, 2012, ISSN 1385-2256, pp. 693–712.

СЪСТАВЯНЕ И ТОЧНОСТ НА ГРАВИМЕТРИЧНИТЕ КАРТИ

Красимира К. Кирилова, Кирил Ф. Янчев

COMPILING AND ACCURACY OF GRAVIMETRIC MAPS

Krasimira K. Kirilova, Kiril F. Yanchev

ABSTRACT: *A gravity map is a special geographic map that shows variations in the Earth's gravitational field, depicting anomalies of gravity relative to normal, which helps in studying subsurface structure, geological formations, and mineral deposits - i.e. measurements. It is a key tool in geophysics, geodesy, and oil and gas exploration, and is created by collecting data from precise gravity networks.*

KEYWORDS: *Gravimetric map, Gravity force, Gravity anomalies*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25KKK

Въведение

Крайният продукт на гравиметричното проучване е гравиметрична карта. Гравиметричните карти показват полето на аномалиите на силата на тежестта. Гравиметричните карти обикновено се съставят с помощта на аномалии в свободния въздух и аномалиите на Фай и Буге. Гравитационните аномалии върху гравиметричните карти се показват като изоаномалии, т.е. линии с равни аномалии.

Основните етапи на съставяне на гравиметрична карта могат да бъдат обобщени по следния начин:

1. привеждане на аномалиите на силата на тежестта в единна система;
2. избор на мащаб и напречно сечение на картата;
3. привеждане на аномалиите на едно ниво;
4. избор на плътността на промеждутъчния слой;
5. нанасяне на гравиметрични точки върху картографската основа, интерполиране на гравитационните аномалии и изграждане на гравиметричната карта.

Изходни предпоставки

Обединяването на резултатите от гравиметричните измервания и изчислените от тях аномалии на силата на тежестта в единна система се извършва и наблюдава на етапа на обработка, като се използват изходните данни, посочени в единна национална система за корекция, която от своя страна трябва да бъде надеждно свързана с международната гравиметрична система. *Освен това, всички гравиметри, използвани при измерванията, трябва да бъдат надеждно*

стандартизирани, т.е. да имат надеждни константи, съответстващи на приетата гравиметрична система [3]. Нормалните стойности на силата на тежестта, използвани при изчисленията на гравитационните аномалии, също трябва да се изчисляват по същата формула. В България за тази цел обикновено се използва формулата на Хелмерт [5].

Ако гравитационните аномалии се изчисляват по различни формули за определяне на нормалната сила на тежестта (Хелмерт, Касини или международната формула от 1967 г.), тогава трябва да се вземат предвид корекциите за прехода от една система към друга. По този начин, за да се преобразуват аномалиите, изчислени по формулата на Касини, в аномалии, използващи формулата на Хелмерт, трябва да се въведе корекция [1].

$$\gamma_{1930K} - \gamma_{1909X} = \left(19,0 - 13.20\sin^2 B + 1.08\sin^2 2B\right) mGal \tag{1}$$

Корекцията за превеждане от аномалии, изчислени по формулата на Хелмерт, към аномалии спрямо международната формула от 1967 г., е равна на

$$\gamma_{1909X} - \gamma_{1967} = \left(-1.8 - 0.40\sin^2 B - 1.08\sin^2 2B\right) mGal \tag{2}$$

Същото изменение, като се вземе предвид изменението на Потсдамската система, ще се равнява на [1]

$$\gamma_{1909} - \gamma_{1967} = \left(-15.8 - 0.40\sin^2 B - 1.08\sin^2 2B\right) mGal \tag{3}$$

Накрая, корекцията за превеждане от формулата на Касини към международната формула от 1967 г. е равна на

$$\gamma_{1930K} - \gamma_{1967} = \left(17.2 - 13.6\sin^2 B\right) mGal \tag{4}$$

като се вземат предвид измененията в Потсдамската система [1]

$$\gamma_{1930K} - \gamma_{1967} = \left(3.2 - 13.6\sin^2 B\right) mGal \quad , \tag{5}$$

При изчисляване на коефициентите по формулата за нормално разпределение на силата на тежестта от 1967 г. е използвана масата на Земята, включително атмосферата. По време на наблюдения на земната повърхност, атмосферното гравитационно привличане ще бъде близко до нула. Следователно, ако аномалиите се изчисляват по международната формула от 1967 г., към наблюдаваната стойност на ускорението, дължащо се на гравитацията, трябва да се добави корекция за атмосферното гравитационно привличане. Стойността на тази корекция е дадена в Таблица 1.

Таблица 1. *Стойности на корекция на атмосферата на Земята в зависимост от надморската височина на точката на наблюдение*

Височина на точките (km)	Поправка за атмосферата, MGal	Височина на точките (km)	Поправка за атмосферата, MGal
0	0.87	3.0	0.6
0.5	0.82	3.5	0.57
1.0	0.77	4.0	0.53
1.5	0.73	4.5	0.50
2.0	0.68	5.0	0.47
2.5	0.64		

Гравиметричните карти в голям мащаб се състоят от подробни измервания, направени в рамките на една държава. Резултатите от тези измервания се предоставят в единна система, свързана с точки в националната мрежа за поддръжка. Освен това, за да съхранява резултатите от измерванията, получени от различни източници, всяка държава създава еталонна гравиметрична мрежа, която позволява постоянен контрол с гравиметър.

Изборът на мащаб на картата и напречно сечение се определя от плътността на проучването, неопределеността на гравитационните аномалии и сложността на гравитационното поле [5]. Връзката между плътността на проучването, точността на изчисленията на аномалиите, мащаба на картата и напречното сечение е представена в Таблици 2 и 3.

Таблица 2. *Технически характеристики за геодезическите измервания в съответствие с мащаба на картата (за равнинни райони)*

Мащаб на картата	Сечение на изолинии, mGal	Средна кв. грешка при определяне на аномалии Буге, mGal	Средна кв. грешка на измерената сила на тежестта, mGal	Обща грешка на интерполацията, mGal	Средна кв. грешка при определяне на височините m_H, m	Средна кв. грешка при определяне на плановите координати $m_{x,y}$, m	Гъстота на мрежата	
							Брой точки на 1 km^2	Разстояния между точките по време на наблюдения по профили, (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1:1000000 1:500 000	5	±1.5	±0.5	±2.0	±5.0	±200	0.04-0.10	2500-5000
1:200 000	2	±0.8	±0.4	±1.0	±2.5	±100	0.10-0.25	1000-2000
1:100 000	1	±0.4	±0.3	±0.5	±1.2	±80	0.25-1.00	500-1000
1:50 000	0.50	±0.2	±0.15	±0.35	±0.70	±40	2-30	100-500
	0.50	±0.1	±0.07	±0.20	±0.35		4-50	
1:25 000	0.25	±0.10	±0.06	±0.20	±0.35	±20	12-60	50-250
	0.20	±0.08	±0.06	±0.15	±0.25		16-80	
1:10 000	0.20	±0.08	±0.06	±0.15	±0.20	±4	20-100	20-100
	0.10	±0.04	±0.03	±0.07	±0.10		25-200	
1:5 000	0.10	±0.04	±0.030	±0.07	±0.10	±2	50-250	10-50
	0.05	±0.02	±0.015	±0.03	±0.05		100-500	

Таблица 3. *Технически характеристики за геодезическите измервания в съответствие с мащаба на картата (за планински райони)*

Мащаб на картата	Сечение на изолинии, mGal	Средна кв. грешка при определяне на аномалии Буге, mGal	Средна кв. грешка на измерената сила на тежестта, mGal	Обща грешка на интерполацията, mGal	Средна кв. грешка при определяне на височините m_H, m	Средна кв. грешка при определяне на плановите координати $m_{x,y}$, m	Гъстота на мрежата	
							Брой точки на 1 km^2	Разстояния между точките по време на наблюдения по профили, (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1:1000000 1:500 000	5	±2.0	±0.5	±3.0	-	-	0.04-0.10	2500-5000
1:200 000	2	±1.0	±0.4	±1.50	±3.00	±100	0.10-0.25	1000-2000
1:100 000	1	±0.5	±0.25	±0.70	±1.80	±100	0.25-1.00	500-1000
1:50 000	1	±0.5	±0.25	±0.70	±1.60	±50	1.0-10.0	100-500
	0.50	±0.25	±0.12	±0.35	±0.90		2-30	
1:25 000	0.50	±0.25	±0.12	±0.35	±0.90	±25	4-50	50-250
	0.25	±0.12	±0.06	±0.20	±0.45		12-60	
1:10 000	0.20	±0.10	±0.06	±0.15	±0.25	±5	20-100	20-100
1:5 000	0.10	±0.05	±0.03	±0.07	±0.12	±2	50-250	10-50

Необходимостта от редуциране на аномалиите на силата на тежестта обикновено възниква при решаване на гравиметрични задачи. При гравиметричните изследвания, при интерпретиране на аномални полета, често се приема, че аномалиите на силата на тежестта са известни в хоризонтална равнина. Редуцирането на аномалиите (до обща височина, например средната височина на изследваната площ) може да се осъществи, ако са известни вертикалните градиентни аномалии. Тъй като обаче вертикалният градиент не се измерва директно и неговото изчисляване е подложено на значителни грешки, този метод за редуциране на аномалиите на силата на тежестта среща практически трудности. Следователно, за редуциране на аномалиите се използват различни аналитични методи.

Плътността на промемеждутъчния слой трябва да бъде известна за изчисляване на топографските аномалии или на аномалии Буге. Особено важно е да се установи правилната плътност на измерванията при съставяне на картите, въз основа на подробни гравиметрични проучвания. В този случай плътността за изчисляване на редукция Буге се определя от гравиметрични наблюдения, проведени на различни височини по време на наземни наблюдения в райони със сложен терен [5]. Плътността на промеждутъчния слой, използвайки гравиметрични наблюдения, направени на различни височини, се определя по формулата:

$$\delta = \frac{g2 - g1 + 0.3086(H_2 - H_1)}{0.0836(H_2 - H_1)}, \quad (6)$$

където:

δ – плътност на промеждутъчния слой;

$g_2 - g_1 u(H_2 - H_1)$ – разликата в ускорението на силата на тежестта, дължащо се на гравитацията, и разликата във височината в точки 1 и 2, разположени на различни височини.

При съставяне на дребномащабни карти плътността на промеждутъчния слой обикновено се приема за еднаква: 2, 67 g/cm^3 за планински райони и 2, 33 g/cm^3 за равнинни райони.

Гравиметричните карти се изграждат с помощта на трапецовидните линии в международна разграфка. Картите показват оскъдна топографска ситуация и гравиметрични точки с обозначени стойности на аномалиите на силата на тежестта [6]. Стойностите на аномалиите на силата на тежестта между точките се интерполират чрез индиректна интерполация или линейна интерполация. Точките с еднакви стойности на гравитационните аномалии се свързват чрез изоаномалии, т.е. линии с еднакви аномалии.

Гравиметричните карти обикновено се изготвят в цвят. Областите с положителни аномалии са оцветени в различни топли тонове (кафяво, розово и др.), докато областите с отрицателни аномалии са оцветени в студени тонове (синьо и зелено).

Ако плътността на гравиметричните точки е недостатъчна, тогава не се съставя гравиметрична карта, а просто се дава средната стойност на аномалиите на силата на тежестта за трапеци с размери (5×7, 5)′, (10×15)′, (20×30)′, (1×1)° и дори (5×5)° [1].

Заключение

Гравиметричната карта е "снимка" на скритата плътност на Земята, която помага да се "надникне" под повърхността, без да се копае.

Решаването на редица приложни проблеми изисква карти на различни характеристики на гравитационното поле на Земята (ГПЗ), техните триизмерни изображения и съответстващи изолинии, както и профили по различни посоки. Измерванията на параметрите на ГПЗ могат да се извършват с помощта на гравиметрични методи, използващи данни от гравиметри, гравитационни вариометри и градиометри. Въз основа на данните от проучванията се изграждат гравиметрични карти, които характеризират аномалиите на гравитационното поле на Земята [2], [4].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Вольфганг Торге. Гравиметрия. – М.: Мир, 1999. – 428 с.

[2] Непоклонов В.Б. О создании цифровых карт уклонений отвесной линии // Геодезия и картография.– 1996. – № 9. – С. 2–6.

[3] Стойков Е., Планова и височинна геодезична основа за топографска снимка на реки и вътрешни водоеми, Годишник: Технически науки. Том XII Е, Шумен, 2022, Университетско издателство „Епископ Константин Преславски“, ISSN: 1311-834X, стр. 21 - 26.

[4] Хмелевской В.К. Геофизические методы исследований: Учебное пособие для геофизических специальностей вузов. – Петропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ, 2004. – 232 с.

[5] Шароглазова А. Г. учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 01 02 «Геодезия» / сост. и общ. ред. Г. А. Шароглазовой. – Новополоцк: ПГУ, 2006 – 196 с. ISBN 985-418-452-8

[6] Ivanov, S. „Determining the scale of a topographic map“. Journal scientific and applied research. Volume 13. Шумен 2018. Университетско издателство „Еп. К. Преславски“. ISSN: 1314-6289. стр. 41 - 45.

ТЕОРЕТИЧЕН И СИСТЕМЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКРИВАНЕ И КОРИГИРАНЕ НА ГРЕШКИ В ЦИФРОВИТЕ КОМУНИКАЦИИ

Милен С. Давидков

THEORETICAL AND SYSTEM-LEVEL ANALYSIS OF ERROR DETECTION AND CORRECTION METHODS IN DIGITAL COMMUNICATIONS

Milen S. Davidkov

ABSTRACT: *Reliable transmission of digital information remains a core problem in communication and automated systems, where noise, interference, and hardware imperfections lead to unavoidable errors in data streams. This paper provides a theoretical and system-level analysis of classical error detection and correction techniques, including error correction codes (ECC), cyclic redundancy check (CRC), and automatic repeat request (ARQ) protocols. The study examines their mathematical foundations, operational principles, and inherent trade-offs between redundancy, computational complexity, latency, and reliability. The evolution of these methods is discussed from an engineering perspective, emphasizing the complementary roles of coding, error detection, and feedback-based retransmission mechanisms. Particular attention is given to the limitations of static coding schemes in dynamic channel conditions and to the motivation for hybrid architectures that integrate local error correction with retransmission strategies. Within this framework, adaptive and machine learning–based approaches are considered as auxiliary tools for parameter optimization and performance enhancement rather than as substitutes for theoretically grounded methods. The analysis confirms that predictable and robust performance in modern digital communication systems is achieved through hybrid designs firmly rooted in classical information theory.*

KEYWORDS: *Error detection, Error correction codes, Cyclic redundancy check, Automatic repeat request, Digital communication systems, Information theory, Hybrid reliability mechanisms*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MSD

1. Увод

Надеждното предаване на информация е структуроопределящ проблем за всички съвременни автоматизирани и комуникационни системи – от класическите телекомуникационни мрежи до разпределени индустриални платформи, вградени системи и интелигентни IoT решения. В основата на този проблем стои неизбежното въздействие на шум, смущения и хардуерни несъвършенства, които

водят до изкривяване на информационните потоци и до появата на грешки в предаваните данни.

Практиката в реални системи показва, че дори минимални грешки на битово или символно ниво могат да доведат до сериозни функционални отклонения – от некоректна работа на системи за управление в реално време до компрометиране на сигурността и загуба на критична информация. Поради тази причина откриването и коригирането на грешки не е вторичен механизъм, а фундаментален елемент при проектирането на комуникационни протоколи и информационни архитектури.

Исторически развитието на методите за защита на данните следва ясна инженерна логика – от чисто математически кодове с гарантирани свойства, през по-гъвкави протоколни решения с обратна връзка, до съвременни хибридни подходи, при които класическата теория се допълва от адаптивни алгоритми. Именно тази еволюция – а не механичното противопоставяне на „класически“ и „интелигентни“ методи – е водещата концепция в настоящия анализ. [5], [8]

2. Кодове за коригиране на грешки (ECC)

2.1. Теоретични основи и граници

Кодовете за коригиране на грешки представляват най-ранния и най-теоретично обоснован подход за осигуряване на надеждност при предаване на информация. Основната идея се състои в умишлено въвеждане на излишък в предаваното съобщение, така че получателят да разполага с достатъчно информация за откриване и евентуална корекция на грешки, възникнали в канала.

Класическият подход за локална корекция на грешки в приемника, при който не се използва обратна връзка към предавателя, е илюстриран на фиг. 1.

Формалната основа на този подход е поставена от Клод Шанън, който показва, че при наличие на достатъчно излишък е възможно предаване с произволно малка вероятност за грешка, стига скоростта на предаване да не надвишава капацитета на канала. Важно е да се подчертае, че тази теорема не дава конструктивен метод, а дефинира граница, към която реалните кодове се стремят с различна степен на приближение.

Централно понятие в теорията на ECC е минималното кодово разстояние. Именно то определя максималния брой грешки, които могат да бъдат надеждно открити или коригирани. Тази връзка въвежда неизбежен компромис между степента на защита, излишъка и изчислителната сложност на декодиране – компромис, който стои в основата на всички практически реализации.

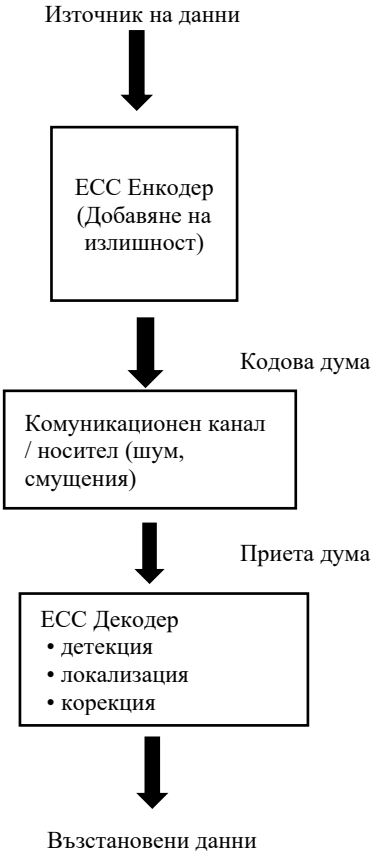
2.2. Линейни блокови кодове

Линейните блокови кодове оперират с фиксирани блокове от информационни символи, които се трансформират в кодови думи с по-голяма дължина. Тази трансформация се описва чрез генераторна матрица, а проверката за грешки – чрез проверъчна матрица, дефинираща така наречения синдром.

Практическата стойност на този подход се състои в ясната математическа структура и възможността за формален анализ на корекционните свойства. Кодове като Хеминг демонстрират как с минимален излишък може да се постигне

корекция на единични грешки и откриване на двойни, което ги прави подходящи за системи с ограничени ресурси и сравнително ниски нива на шум. [3], [6]

По-сложни линейни кодове, като BCH и Reed–Solomon, разширяват тази идея, като позволяват корекция на множество грешки и са особено ефективни при пакетни или групирани грешки. Именно това обуславя широкото им приложение в системи за цифрово съхранение и предаване на мултимедийни данни.



Фиг. 1. *Принципна структурна схема на ECC-базирана система за откриване и корекция на грешки*

2.3. Конволюционни и съвременни итеративни кодове

За разлика от блоковите кодове, конволюционните кодове третират данните като непрекъснат поток. Това позволява по-гъвкава защита, но изисква

по-сложни алгоритми за декодиране. Алгоритъмът на Витерби е класически пример за оптимално декодиране, но неговата изчислителна сложност нараства експоненциално с дължината на паметта.

Появата на турбо кодовете и LDPC кодовете представлява качествен скок в развитието на ECC. Тези кодове използват итеративно декодиране и вероятностни подходи, което им позволява да се доближат значително до границата на Шанън. Важно е да се отбележи, че техният успех не се дължи на „интелигентност“ в смисъла на обучение, а на внимателно конструирана структура и ефективно използване на вероятностна информация.

Тази характеристика често се пренебрегва в съвременните обобщения, но именно тя обяснява защо LDPC кодовете са стандартен избор в съвременни безжични и сателитни системи – те предлагат оптимален баланс между надеждност и изчислителна сложност. [1], [7]

2.4. Ограничения на ECC подхода

Въпреки силните си теоретични гаранции, ECC методите имат ясно изразени ограничения. Добавянето на излишък неизбежно намалява ефективната пропускателна способност, а сложните декодиращи алгоритми поставят сериозни изисквания към изчислителните ресурси и латентността.

Освен това класическите кодове са по същество статични – те са оптимални за определен модел на канал, но трудно се адаптират към динамични условия без допълнителни механизми. Именно тези ограничения мотивират търсенето на допълващи подходи, базирани на протоколи с обратна връзка и, в по-ново време, на адаптивни алгоритми.

3. Циклична проверка за излишък (CRC) като инженерно решение

Цикличната проверка за излишък възниква не като алтернатива на кодовете за коригиране на грешки, а като прагматичен отговор на ограниченията им в реални комуникационни системи. Докато ECC методите целят локално възстановяване на информацията, CRC е проектиран с ясно дефинирана задача – надеждно откриване на грешки при минимална изчислителна сложност и минимален излишък.

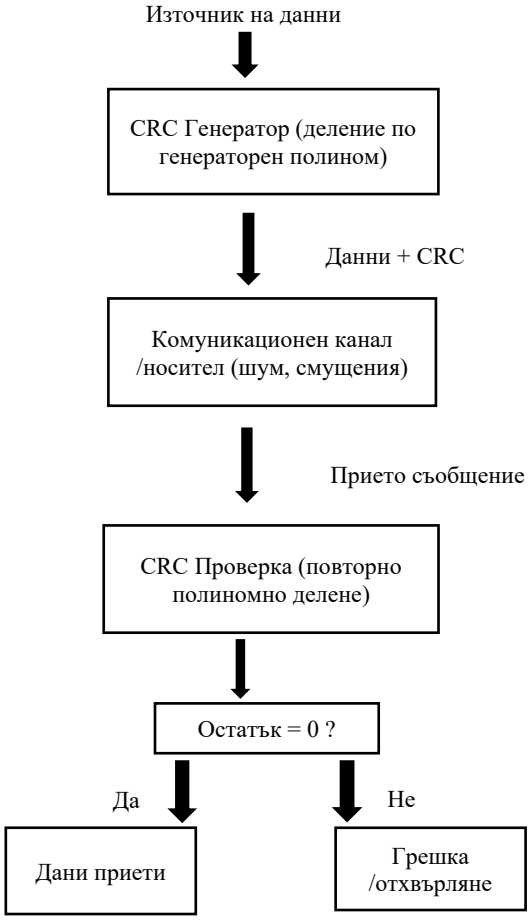
Принципът на контрол за целостта на данните чрез откриване, но без корекция на грешки, е показан на фиг. 2.

Математическият модел на CRC се базира на полиномиална аритметика в крайното поле GF(2), но практическата му сила не произтича от самата формализация, а от факта, че добре подбран генераторен полином позволява с висока вероятност да се откриват както единични, така и групирани грешки. Именно това прави CRC особено подходящ за пакетно ориентирани протоколи и високоскоростни канали, при които корекцията на място е по-малко важна от бързото откриване на некоректно приетите данни.

Съществено е да се подчертае, че CRC не предоставя никакъв механизъм за корекция. Това често се представя като слабост, но в системен контекст това е съзнателен инженерен избор. Отказът от корекция значително опростява реализацията и позволява CRC да се използва в среди с ограничени ресурси,

високи скорости и строги изисквания за детерминирано време за обработка. В този смисъл CRC не конкурира ECC, а го допълва, като изпълнява ролята на надежден детектор в по-широка архитектура.

Изборът на конкретен CRC полином също не е произволен. Той представлява компромис между дължината на контролната сума, вида на очакваните грешки и допустимата вероятност за недетектирана грешка. Именно тази зависимост показва ясно границите на CRC и обяснява защо той почти винаги се използва съвместно с механизми за повторно предаване.



Фиг. 2. *Принципна схема на контрол за целостта на данните чрез CRC*

4. ARQ протоколи и ролята на обратната връзка

Автоматичното повторно изискване представлява следващата логична стъпка в развитието на системите за надеждно предаване. Вместо да се разчита изцяло на локална корекция, ARQ въвежда обратна връзка между подателя и получателя, като превръща комуникацията в интерактивен процес.

В основата на ARQ стои проста, но изключително ефективна идея: откритата грешка не се коригира, а се компенсира чрез повторно предаване. Това позволява системата да бъде независима от конкретния модел на грешките в канала, стига да е наличен надежден механизъм за откриването им. Именно тук CRC намира естественото си място като детектор, докато ARQ поема функцията на възстановяване на коректната информация.

Различните варианти на ARQ отразяват различни компромиси между латентност, пропускателна способност и сложност. Простейшите схеми минимизират изчислителната тежест, но страдат от ниска ефективност, докато по-сложните протоколи използват прозорци от пакети и селективно повторение, за да оптимизират използването на канала. Във всички случаи обаче наличието на обратна връзка превръща латентността в ключов параметър, който често ограничава приложимостта на ARQ в системи в реално време или в среди с нестабилна свързаност.

Комбинираните схеми, известни като хибриден ARQ, представляват естествено обединение на двата подхода. При тях ECC се използва за корекция на малък брой грешки, докато ARQ компенсира по-тежките нарушения чрез повторно предаване. Този модел ясно показва, че надеждността в съвременните системи не е резултат от един „най-добър“ метод, а от внимателно балансирана комбинация от механизми на различни нива.

5. Адаптивни и ML-базирани подходи в контекста на класическата теория

Появата на методи, базирани на машинно обучение, не отменя класическите решения, а отразява нарастващата сложност и динамика на съвременните комуникационни среди. Важно е да се направи ясно разграничение между обучаеми алгоритми като инструмент за оптимизация и идеята за „пълна замяна“ на теоретично обоснованите методи.

В практическите реализации машинното обучение се използва предимно за приближено решаване на задачи, които класическите алгоритми решават с висока изчислителна цена или при строги допускания за канала. Типичен пример е ускоряването на итеративното декодиране при LDPC и турбо кодове, където обучени модели могат да подпомогнат избора на параметри или да намалят броя на итерациите без съществена загуба на надеждност.

Друг важен аспект е адаптацията. Докато класическите кодове и протоколи са проектирани за определени условия, обучаемите модели позволяват динамично настройване спрямо текущото състояние на канала, натоварването на системата или ограниченията на крайното устройство. Тази адаптивност обаче има цена – необходимост от данни за обучение, липса на строги теоретични гаранции и зависимост от сценария, за който моделът е обучен. [2], [4]

Поради тези причини ML-базираните методи следва да се разглеждат не като самостоятелна категория за корекция на грешки, а като допълващ слой, който работи върху стабилната основа на класическата теория. В противен случай съществува риск от системи с висока средна производителност, но с трудно предсказуемо поведение в критични ситуации.

6. Заключение

Анализът на методите за откриване и коригиране на грешки показва ясно, че развитието на тази област се ръководи от последователна инженерна логика, а не от внезапни технологични „скокове“. ECC, CRC и ARQ не са конкурентни решения, а взаимнодопълващи се механизми, всеки със своята ясно дефинирана роля и ограничения.

Съвременните адаптивни и обучаеми подходи се вписват в тази рамка като средства за оптимизация и гъвкавост, но не и като заместител на теоретично обоснованите методи. Именно хибридните архитектури, които съчетават математическите гаранции на класическата теория с адаптивността на съвременните алгоритми, представляват най-реалистичната посока за развитие на надеждните комуникационни системи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Shannon, C. E. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal, 1948.

[2] Hamming, R. W. Error Detecting and Error Correcting Codes. Bell System Technical Journal, 1950.

[3] Lin, S., Costello, D. Error Control Coding: Fundamentals and Applications. Prentice Hall.

[4] MacKay, D. J. C. Information Theory, Inference, and Learning Algorithms. Cambridge University Press.

[5] Richardson, T., Urbanke, R. Modern Coding Theory. Cambridge University Press.

[6] IEEE Communications Surveys and Tutorials – обзорни статии за LDPC, Turbo и HARQ.

[7] 3GPP Technical Specifications – LTE и 5G HARQ механизми.

[8] IEEE 802 Standards – CRC и протоколни реализации.

НЕТРАДИЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ДОСТЪП ДО ИНФОРМАЦИЯ, РАЗПРОСТРАНЯВАНА ПО ФИЗИЧЕСКИ КАНАЛИ

Атанас И. Начев

NON-TRADITIONAL METHODS OF ACCESS TO INFORMATION TRANSMITTED THROUGH PHYSICAL CHANNELS

Atanas I. Nachev

ABSTRACT: *This paper proposes an examination of issues related to information protection during its dissemination in a real physical environment. The objective of the presentation is to outline specific information security problems that go beyond its limited consideration solely within the scope of the IT domain.*

KEYWORDS: *Information security, Physical information leakage channels, Unauthorized information access, Acoustic and electromagnetic channels, Eavesdropping, Side channels*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25AIN

В ерата на информационните технологии често защитата на информацията се ограничава до проблема на логическо ниво [1, 5], забравяйки, че информацията се представя и се разпространява в пространството под формата на съответни физически процеси по реални физически канали. Тази понякога допускана едностранчивост води до неприятни последствия [2]. Като се изхожда от факта, че осигуряването на нужното ниви на информационна защита следва да се разглежда и решава като проблем, изискващ отчитане на множество съпътстващи заплахи налага вземане под внимание на съвкупност от съществуващи фактори [6, 7]. Една голяма част от тях са на физическо ниво и поради обстоятелството, че често са „засенчвани“ от концентрацията на основното внимание върху функционалността на компютърните системи и мрежи, методите чрез които в случая се решават едни или други задачи за осигуряване на информационната защита бихме го оприличими като „нетрадиционни“, което по същество съвсем не е така.

Информацията винаги има своя материален носител, във вид на физически процес или състояние. Домогването до информацията на такова ниво се осъществява чрез достъп до съответния процес, който протича в рамките на дадена физическа среда. Реализацията на тази възможност се постига чрез използване по подходящ начин на съответни технически средства. Такава съвкупност дефинира физически канал за неоторизиран информационен достъп [2, 3, 4].

Съществуват следните основни физически реализации, които позволяват осъществяване на несанкциониран достъп до информация:

— Акустични канали по които се разпространява информация под формата на звук.
— Електрически канали, в пределите на които информацията се разпространява с използване на електрически процеси.
— Електромагнитни канали, които осъществяват предаване на информация с използване на електромагнитна енергия в радиодиапазона.
— Оптични канали, в пределите на които информацията се разпространява във вид на електромагнитна енергия в оптичния диапазон.

С използване на подходящи за целта технически средства могат да се организират технически канали за:

— получаване на информация, която се разпространява по телефонни линии и канали;
— получаване на акустична (речева) информация с използване на подслушващи устройства;
— скрито получаване на акустична информация с използване на лазерни и насочени микрофони и преднамерени електромагнитни въздействия;
— скрит информационен достъп с използване на възникващите при работата на електронните средства, в това число и микрокомпютърни системи, паразитни електромагнитни излъчвания;
— разчитане на информацията, налична в бракувани поради неработоспособност или негодност технически носители: флаш памети дискети, твърди магнитни дискове, оптични носители на информация и пр.;
— получаване на информация, разпространяваща се в системите за радиообмен, в това число и в системите за мобилна комуникация;
— получаване на информация, разпространяваща се в системите за сателитна радиовръзка.

Нека се спрем по-подробно на тези неща:

Неоторизиран информационен достъп до акустична информация с използване на микрофони

При наличие на постоянен достъп до помещението, което е обект на контрол може да се използват микрофони, изводите от които чрез тънки проводници се свързват със съответно устройство за възпроизвеждане на звука, разположено в съседно помещение. Съществуват миниатюрни микрофони, с диаметър около 2, 5 mm, които са в състояние да преобразуват в електрически сигнали нормална човешка реч на разстояние до 10–15 m.

Заедно с микрофоните могат да се използват електронни усилватели, с което значително се повишава разстоянието, на което може да се осъществява отдалечено прослушване на провеждащи в дадено помещение разговори.

С използване на усилватели с използване на разгледания подход може да се осъществи отдалечено прослушване до 500 m, т.е. възможно е прослушване на произволно помещение в дадена сграда. Често проводните линии от няколко

помещения се концентрират на отделен пулт, който е разположен на удобно за целта място. При необходимост може да се извършва запис на получаваната информация. За едновременна регистрация на няколко разговора съществуват съответни регистратори, обикновено на базата на персонални компютри, с възможност за едновременен запис от 2 до 16 и повече помещения.

Микрофоните могат да бъдат монтирани при строителството на сградата, спуснати по вентилационната шахта на нивото на контролираното помещение, през покрива и т.н.

Освен непосредствено прехващане на акустична информация с използване на микрофони, може да се възприема и звук, който се разпространява от контролираното помещение по строителните конструкции на зданието–стени, тръби, врати и пр. Това става с използване на така наречените микрофони–стетоскопи. Известни са и като вибро микрофони. С тяхна помощ могат да се прослушват разговори през стената, врати, прозорци и др. Контролният пункт за прослушване на разговор с използване на микрофони–стетоскопи може да се оборудва на безопасно място в зданието, на значително разстояние от контролираното помещение.

Достойнство на метода за неоторизиран информационен достъп до акустична информация с използване на микрофони е неговата простота на реализация. Заедно с това той притежава съществен недостатък. По проводниците могат да се идентифицират както самите микрофони, така и местата, където се осъществява прослушването на разговорите.

Неоторизиран информационен достъп до акустична информация с използване на насочени микрофони

Често се налага прослушване на разговори, в това число и провеждани на открита местност. Използването за целта на обикновени микрофони в такива случаи е почти невъзможно. Съвременните микрофони, в това число и тези от динамичен или електронен тип позволяват да регистрират човешки глас на разстояние, не надхвърлящо 15 метра през деня и 200 метра през нощта. За условията на разглеждания случай това е твърде малко, тъй като често е необходимо прослушване на разговори от разстояние десет и повече пъти от посоченото. В такива случаи могат да се използват така наречените микрофони с насочено действие.

Съществуват няколко подхода за реализиране на микрофони с насочено действие, т.е. на микрофони, които усилват звуковите вълни в дадено направление и ги отслабват всички други звуци, идващи от други направления. Такива микрофони се характеризират с тясна диаграма на насоченост, което може да се постигне по различни начини. В някои от микрофоните за целта се използват акустични резонатори, най-често във вид на тръби с различна дължина. С високи параметри се характеризират и насочените микрофони с които диаграмата на насоченост се формира с помощта на параболичен концентратор на звука.

В практиката се прилагат и насочени микрофони, закамуфлирани под формата на различни предмети. Широко за целта се използват чадъри, в които са вградени насочени микрофони с тръбна конструкция на резонатора и електронен

усилвател. Изходът може да бъде на слушалки, или на записващо устройство. Реалната далечина на действие на „чадъра“ е около 30 метра.

В реални градски условия почти е невъзможно да се осъществи прослушване на разстояния над 100 метра от мястото на провеждащи се на открито разговори. По-големи разстояния са възможни в условия на изключителни случаи, като над езеро, в мъгла, сутрин рано и пр.

Използване на диктофони за неоторизиран достъп до акустична информация

Диктофоните представляват удобно средство за неоторизиран достъп и запис на акустична информация. Диктофон може да се намира в един от участниците на конкретно съвещание или да се монтира в дадено помещение, когато заинтересовано лице има неограничен достъп до него. Още повече, че в редица случаи е възможно диктофонът да се закамуфлира под различни предмети-пакет от цигари, кутия с писмени прибори, книга и др.

Съвременните диктофони осигуряват непрекъснат запис на речева информация от 30 минути (диктофони с магнетофонна касета) до няколко часа. Притежават система за автоматично запускане по нивото на акустичния сигнал. Редица от тях могат дистанционно да се управляват.

Неоторизиран достъп до информация, разпространяваща се по телефонни линии

Телефонните линии са изключително удобни за осъществяване на неоторизиран достъп до предавана по тях информация чрез простото им прослушване. Най-често прослушването на телефонни разговори се осъществява на участъка „станция–абонат“ или направо с телефонния апарат. Прослушване може да се осъществи в самата АТС, но това е преди всичко дело на специалните служби. Подключената за целта техника като правило не може да се открие.

Телефонните линии се състоят от три основни участъка:

— магистрален участък, разположен между АТЦ и репартитора (разпределителния шкаф);
— разпределителен участък, който се намира между разпределителния шкаф и разпределителната кутия;
— абонатни проводници, които излизат от разпределителната кутия и свършват в розетките, към които се включват телефонните апарати на абонатите.

Съответното подслушващо устройство може да се подключи в произволно място, което осигурява достъп до предаваната информация: телефонни проводници, телефонни апарати, телефонни розетки, разпределителни кутии шкафове. Най-лесен начин за прослушване на телефонни разговори е като се осъществи непосредствено паралелно подключване към телефонния апарат. При това може да се осъществи запис на провеждащите се разговори. За тази цел съществуват съответни адаптери, които позволяват към тях да се подключи лентов магнетофон или цифров диктофон. Адаптерите позволяват да управляват включването на диктофоните при снемане на слушалката от телефонния апарат.

Подключването към телефонните линии може да се осъществи не само непосредствено, т.е. галванично, но и с използване на индукционни и капацитетни датчици. Използването на капацитетни и индукционни датчици прави практически невъзможно откриването на подслушващи устройства, освен чрез визуалното им идентифициране, което е почти невъзможно.

Широко разпространение за прослушване на телефонни разговори имат така наречените телефонни радиопредаватели. Те представляват радиотранслатори на прихванатите телефонни разговори. Могат да се подключат в произволно място на телефонната линия и предават информацията по радиоканал. Тази информация се приема от съответен радиоприемник, разположен на пункта за прехващане. Захранването на телефонните радиопредаватели се осъществява от телефонната линия. Това прави времето им на използване практически неограничено. По-голямата част от телефонните радиопредаватели се включват автоматически при наличие на телефонни разговори. В останалото време те са в пасивен режим и не излъчват радиосигнал.

Съществува голяма гама устройства за подслушване на телефонни разговори, които са предназначени за монтиране в самия телефонен апарат. Те използват микрофона на телефона и предават информацията по радиоканал. Те не притежават собствен източник на електрозахранване, като се захранват от телефонната мрежа. Това позволява да работят неограничено дълго време и да са с изключително малки размери. Често в качеството на антена използват самата телефонна линия. С оглед на маскировка се произвеждат във вид на различни детайли, използвани в телефонната техника–релета, кондензатори, филтри и др.

С оглед на затрудняване на откриването на подслушващите устройства често те се включват извън помещението, където е разположен телефонният апарат. За изключване влиянието на подслушващото устройство върху телефонната линия масово се прилага индукционно подключване. Устройствата с индукционно подключване притежават собствено (автономно) електрозахранване. Това ограничава времето на тяхното използване. Тези устройства автоматично се включват при вдигане на слушалката на телефонния апарат.

Използване на телефонните линии и на линиите за електрозахранване за предаване на акустична информация

Съществува голяма гама устройства, които позволяват прослушване на помещения, като приетата акустична информация се предава по наличните телефонни линии и по електрозахранващата инсталация на сградата.

Пример за такова устройство е например така нареченото „телефонно ухо“. То представлява устройство, което се подключва паралелно към телефонната линия. Малките му размери го правят удобно за монтиране дори и в телефонната розетка.

За прослушване на провеждащите се в помещението разговори се набира номера на абоната на телефона, който е разположен в това помещение. След като се чуе първият сигнал от АТС телефонът се затваря и слушалката отново се вдига след 10–15 секунди, като отново се набира същия номер. „Телефонното ухо“ генерира лъжлив сигнал „заето“ в продължение на 40–60 секунди, след което тези

сигнали се прекъсват и се включва микрофонът му – започва прослушване на помещението. При сигнал за повикване на телефонния абонат, които постъпват по линията, „телефонното ухо“ пропуска всичките без първия, като по този начин изпълнява ролята на обикновена телефонна розетка и не пречи на провеждащият се разговор.

Телефонните линии и проводниците от електрозахранващата мрежа могат да се използват за предаване на информацията, получена от скрито разположени в помещенията микрофони. Обикновено се използва носещ сигнал в диапазона от няколко десетки до стотина килохерца. Такава честота не пречи на провеждането на разговори по телефонната мрежа. Качеството на предаваната информация и разстоянието на което се разпространяват сигналите в случая зависи от редица фактори, като качество на изпълнение на електрическата и телефонна инсталация, наличието на източници на радиосмущения в използвания за предаването на информацията честотен диапазон, наличие на компютърна и медицинска техника и пр.

Телефонните апарати могат да се използват за прослушване на помещения на базата на индуцираните електродвижещи сили в бобините на електромеханичния им звънец, в пиезо зумера и пр. Независимо, че тези устройства са изключително скъпи и рядко се използват, особено при днешните телефонни апарати, при които отсъстват големи механични елементи, мерки за предотвратяване на подслушването с посочения способ следва да се вземат.

Високоговорителите от радиоточките също могат да бъдат датчик на акустични сигнали, които възникват в помещението, където радиоточката е монтирана. В конкретния случай се използва това, че високоговорителят работи в микрофонен режим и генерираните от него сигнали се разпространяват по слаботоковата инсталация. Аналогични датчици на акустични сигнали могат да бъдат електрическите часовници, захранвани от часовник майка и електрическите звънци.

Прехващане на разговори, провеждани по радиотелефони и клетъчни телефони. Клетъчните телефони като средство за прехващане и предаване на акустична информация

Радиотелефоните представляват лесен обект за прехващане на разговорите, които се провеждат с тях. Причината е, че обмена на информация се извършва в радиодиапазона, който е достъпен за всички. За целта е достатъчно да се настрои приемника на честотата на носещата на която работи радиотелефона и на съответния режим на модулация на сигналите.

От клетъчните телефонни системи днес най-масово се използва цифрова мрежа GSM. Стандартът GSM (Group Special Mobile) е разработен от Европейския институт за телекомуникационни стандарти (European Telecommunications Standard Institute). До неотдавна се считаше, че GSM притежава достатъчно мощна система за защита срещу подслушване и клониране. Но съществуват редица съобщения за осъществено клониране на клетъчни телефони. Но следва да се има предвид, че без непосредствен достъп до даден телефонен, в краен случай за няколко часа, неговото клониране е невъзможно. Гаранции, че за в бъдеще това ще остане така няма.

При GSM се използват два вида свръзка:

— За свързване и обмен на информация по ефира между мобилния телефон и базовата радиостанция;
— За свързване на базовата станция с АТЦ по проводни канал.

Характерна особеност на GSM е, че информацията, която се разпространява по проводната част на мрежата не се криптира. Поради това прослушването тук може да се осъществи с прилагане на способите, характерни за прослушването на телефонните линии.

Системата за радиовръзка притежава две нива на защита на предаваната информация. Първото ниво гарантира, в някаква степен, анонимност и аутоидентификация на абоната. Реализира се от центъра за аутодентификация на мрежата. Второто ниво на защита гарантира, в някаква степен, конфиденциалността на разговора посредством използване на методи за криптиране на информацията. Алгоритмите за аутодентификация и криптиране на информацията гарантират доста високо ниво на защита.

Предвид на изложеното системите за прехващане на разговори в GSM мрежите е сравнително сложно. В момента съществуват както активни, така и пасивни средства за прехващане на предавани по радиоканала разговори в среда на GSM. Активните средства представляват комплекс, който работи като активна базова станция.

Голяма част от GSM телефонните апарати позволяват да се използват за подслушване на разговори, провеждани в дадено помещение. За целта съответния апарат се активира от разстояние, без знанието на притежателя му, за работа в такъв режим. В случая GSM телефона работи като радиоподслушващо устройство, което използва радиокомуникационната среда на GSM мрежата.

При включване на телефонния апарат, същият периодично изпраща сигнали, с помощта на които се обозначава в мрежата с цел да бъде потенциално обслужен. Това позволява да се определи местоположението и движението на притежателя на апарата.

Използване на паразитните електромагнитни излъчвания за неоторизиран информационен достъп

При работата на електронните средства през техните електрически вериги протичат токове. Голяма част от тези токове са информационно носещи.

Известно е, че при протичане на електрически ток по даден проводник около него се възбужда електромагнитно поле, което се разпространява в околното пространство във вид на електромагнитна вълна. Тази електромагнитна вълна има честота и спектър като честотата и спектъра на електрическия ток, който я е възбудил.

Този ефект е известен като антенен ефект. Когато се използва в радиопредавателните антени той е полезен антенен ефект, чрез който се осъществява предаване на информация в радиокомуникационните системи. За разглеждания случай на работа на електронните средства антенният ефект има паразитен характер и той съпътства функционирането на електронната апаратура, а така също присъства и при предаване на информация по кабелни и проводни линии.

От казаното следва, че чрез прихващане на паразитните електромагнитни излъчвания при работата на комуникационно оборудване или на компютърни системи може да се осъществи неоторизиран отдалечен информационен достъп до обработваната и предавана информация. Такъв достъп може да се реализира и чрез прихващане на електромагнитните полета, които се възбуждат около комуникационните кабели и проводници.

Паразитното електромагнитно излъчване индуцира високочестотни токове в захранващата мрежа и в проводниците на различните слаботокови инсталации, като телефонни линии, мрежови кабели и пр. Ето защо електрозахранващата мрежа и слаботоковите инсталации се оказват носители на информация за обработваните или предавани данни в компютърните системи и мрежи и по комуникационните кабели и проводници.

При работа на редица информационни средства, като печатащи устройства факсове, клавиатури и пр. се генерират акустични вълни, част от които носят информация за отпечатаните документи, за набрания чрез клавиатурата текст и пр. Прехващането и препредаването на тази информация е също възможно.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Димитров В. Основи на киберсигурността. Том 1. София, Сиела, 2024.

[2] Начев А. Физически канали за неоторизиран информационен достъп. София, За буквите, О‘писменех, 2025.

[3] Начев А. И. Технически основи на комуникационните и информационни технологии. София, За буквите, О‘писменех, 2014.

[4] Начев А. И. Електронни системи. София, За буквите, О‘писменех, 2014.

[5] Наредба за задължителните общи условия за сигурност на АИС или мрежи, в които се създава, обработва, съхранява и пренася класифицирана информация. www.dans.bg/ima-ges/stories/promzak/naredba_ais_mrezhi-06122012.pdf

[6] Семерджиев Ц. Сигурност и защита на информацията. София, Класика и стил, 2007.

[7] Shannon C. E. Communication Theory of Secrecy Systems. Bell System Technical Journal, 1949.

ПОДХОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНАТА НАДЕЖДНОСТ НА КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ

Атанас И. Начев

AN APPROACH TO DETERMINING THE FUNCTIONAL RELIABILITY OF COMMUNICATION SYSTEMS

Atanas I. Nachev

ABSTRACT: *Based on the observation that the so-called "classical reliability theory" can be applied only to a limited extent when addressing problems related to the reliability of information transmission systems and networks, an alternative method for determining their functional reliability is proposed. The method is founded on the evaluation of information transmission time while explicitly accounting for the reliability characteristics of the structural elements of the information exchange network.*

KEYWORDS: *Functional reliability, Communication systems, Communication networks, Information transmission time, Reliability modeling, Network elements reliability, Failure processes, Performance evaluation*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25ANA

Известно е, че подходите и методите на така наречената „класическа техническа надеждност" [7, 8, 9, 10, 11 и др.] са ограничено приложими по отношение на системи, в това число и комуникационни, реализирани с използване на мрежови структури [1, 2, 3, 4, 5, 6, 11]. В тази връзка възниква необходимост от разработване на методи, които да позволяват преодоляване на възникналия проблем. Един от подходите в това отношение се състои в обвързване на самия процес на функциониране на комуникационните системи с надеждностните характеристики на елементите ѝ. Тази обвързаност определя функционална им надеждност [4]. Казано по друг начин в случая става дума за количествено изразяване на качеството на изпълнение от комуникационните системи на процесите по обмен на информация с отчитане на влиянието на надеждността на реализиращите ги средства. Това се явява и основната идея на настоящото изложение.

Надеждността на големите системи, каквито са и съвременните комуникационни системи, е направление в техническата надеждност, което съществено се отличава, по характера на поставените за решаване задачи и по методите на тяхното решаване, от „класическата теория" на надеждността [1] и по същество е ново, в голяма степен самостоятелно направление в развитието на теорията и практиката на техническата надеждност. Комуникационните системи, реализирано чрез мрежови структури се характеризират с висока степен на сложност и неординарно поведение, състоящо се в това, че при технически неизправни техни елементи функционирането им често е затруднено, но мрежата

като цяло продължава да функционира. Като обекти на теорията и практиката на надеждността тези мрежи се характеризират с редица специфични особености, които произтичат преди всичко от факта, че едновременното използване на ресурсите им от много потребители предизвиква изпълнение на процеси, протичащи в пространствено разнесена среда.

Изпълнението на процесите в комуникационните мрежи е съпроводено с влиянието на различни смущаващипи въздействия, породени от надеждността на използваното оборудване и от надеждността на програмното осигуряване. Тези въздействия, независимо от физическата си природа и място на възникване водят до един и същ краен резултат – увеличаване на времето за предаване на информация. В качеството на показатели за оценка в случая се използва математическото очакване $M[\tau_c]$ на това време и дисперсията ѝ $D[\tau_c]$.

Изпълнението на процеса на информационен обмен може да се преустанови поради отказ на средствата, които го реализират. Отказите, които възникват в тези условие формират следните ситуации:

1. При възникване на всеки един отказ изпълнението на процеса на информационен обмен не може да продължи и отказалото средство се нуждае от ремонт за възстановяване на нарушената му работоспособност. След възстановяване на нарушената работоспособност процесът отново се изпълнява от самото му начало.

2. При възникване на отказ отказалото устройство се ремонтира, а предаване на информация се изпълнява от начало от резервно оборудване.

4. При възникване на отказ изпълнението на процеса на информационен обмен продължава да се изпълнява от точката на прекъсване от резервно оборудване.

5. При възникване на сбой оборудването се самовъзстановява. Прекъснатият процес на обмен на информация се изпълнява отначало след всяко самовъзстановяване от възникнал сбой.

6. При самоотстраняващи се откази (сбоеве) съответното оборудването се самовъзстановява. Прекъснатият процес на информационен обмен след самовъзстановяване на съответните средства продължава да се изпълнява от мястото на прекъсване.

Особено място сред смущаващите изпълнението на информационните процеси въздействия заемат процесите на фазиране, които могат да окажат влияние, аналитично на влиянието на кратковременните прекъсвания или на устойчивите откази [1, 2].

Техническите средства, чрез които се изграждат съвременните комуникационни мрежи представляват високонадеждни устройства. Това дава основание да се счита, че разгледаните по-горе потоци от откази са елементарни, стационарни поасонови потоци. Поради това интервалите между възникването на два съседни отказа, независимо от типа им, са подчинено на експоненциален закон на разпределение с интензивност λ_i, където i е индекс на типа на съответния поток. В такъв случай математическото очакване на времето между възникването на дава съседни отказа, т. е времето за безотказна работа, ще бъде

$T_{0i} = 1/\lambda_i$, а вероятността за безотказна работа $p_i(t)$ за времето t в отношение на $i-$ ти поток ще се представи чрез $p_i(t) = \exp(-\lambda_i t)$. Плътността на разпределение на времето за безотказна работа $f_i(t)$ ще е:

$$f_i(t) = -\frac{dp_i(t)}{dt} = \lambda_i \exp(-\lambda_i t)$$

Ако процесът на информационен обмен се характеризира с обем M и ако продължителността на изпълнението на този процес в идеални условия, т.е. при отсъствие на откази, е равно на Q, то може да се каже, че процесът на информационен обмен се изпълнява с производителност

$$V_0 = \frac{M}{Q}$$

При условие, че изпълнението на обмена на информация е подложен на въздействието на едни или други типове откази, времето за изпълнението му T ще представлява

$$T = S + X$$

където S е сумата от времевите интервали, през които се изпълнява процеса: $S = \sum_{i=1}^{N-1} s_i$, а X е сумата на времевите интервали на престой, т.е. $X = \sum_{i=1}^{N} x_i$, $N-$ количество на възникналите прекъсвания на изпълнението на информационния процес.

В такъв случай реалната производителност на изпълнение на процесите на обмен на информация ще се определи като:

$$V = \frac{M}{T} = \frac{M}{S + X}$$

Тъй като количеството на възникналите откази за времето на изпълнение на процеса на предаване на информация и неговата продължителност представляват случайни величини, то времето T ще е случайна величина, която в общия случай ще се представи като:

$$T = Q + \theta$$

където θ е случайно време, добавяно към времето за предаване на информацията.

В качеството на пример ще разгледаме два типични случая:

Време за предаване на информация, при въздействие на един тип откази, като времето за възстановяване е подчинено на експоненциален закон на разпределение и когато след всеки отказ изпълнението на процеса на предаване на информация започва отначало

Нека изпълнението на даден процес на предаване на информация е подложено на въздействието на конкретен тип откази, количеството на които за определен времеви интервал е случайна величина с поасонов закон на разпределение с параметър λ . Времето τ за откриване наличието на отказ е случайна величина с експоненциален закон на разпределение с интензивност μ . След всеки възникнал отказ за времето на изпълнение процеса на предаване на информация съответното средство се възстановява за времето $\tau_в$, след което процесът стартира отначало. Времето $\tau_в$ е случайна величина с експоненциален закон на разпределение с параметър $\mu_в$.

В указните условия е необходимо да се определи математическото очакване $M[\tau_c]$ на времето за изпълнение на процеса за предаване на информация при условие, че при отсъствие на откази той се изпълнява за времето Q.

Ще приемем, че времето за изпълнение на процеса на предаване на информация до прекъсването му е съизмеримо с времето Q. Протичането на информационния процес се извършва съгласно времевата диаграма, представена на фиг. 1, където T_3 - времеви интервал на работа на системата, в течение на който възниква смущаващо въздействие; T_1 - времеви интервал, в течение на който не възникват смущаващи въздействия и се извършва изпълнението на информационния процес.

В съответствие с фиг.1 ще имаме:

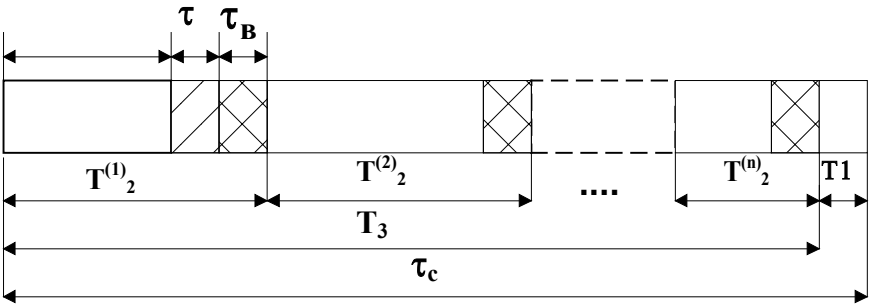
$$T_2 = Q + \tau + \tau_в \tag{1}$$

$$T_3 = \sum_{i=1}^{n} (Q + \tau + \tau_в)_i \tag{2}$$

Ще въведем: $p = e^{-\lambda_в Q}$ – вероятност, че за времето Q няма да възникне смущаващо въздействие; $q = 1 - p$ – вероятност на възникване на отказ за времето Q .

Тогава (8.2) ще запишем като:

$$M[T_3] = (Q + \tau + \tau_в) \sum_{n=0}^{\infty} npq^n \tag{3}$$



Фиг. 1.

Тъй като $\sum_{n=0}^{\infty} npq^n = \frac{q}{p}$ е математическо очакване на случайна величина разпределена по геометричен закон на разпределение, то (3) ще приеме вида:

$$M[T_3] = \frac{q}{p}(Q + \tau + \tau_в) \tag{4}$$

В съответствие с фиг. 1 за математическото очакване $M[\tau_c]$ на времето τ_c за предаване на информацията ще имаме:

$$M[\tau_c] = M[T_3] + T_1$$

Времевият интервал $T_1 = Q + \tau$, където τ е времето за проверка за наличие на прекъсване. Предвид на това, че в общия случай $\tau_п << Q$ ще имаме:

$$M[\tau_c] = M[T_3] + Q$$

Или:

$$M[\tau_c] = \frac{q}{p}(Q + \tau + \tau_в) + Q. \tag{5}$$

Предвид на експоненциалния закон на разпределение на τ и $\tau_в$ (5) ще представим като:

$$M[\tau_c] = \frac{q}{p}\left(Q + \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu_в}\right) + Q \tag{6}$$

Или:

$$M[\tau_c] = Q + \frac{1 - e^{-\lambda Q}}{e^{-\lambda Q}} \left(Q + \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu_в} \right) \quad (7)$$

В случай, че отказите са самовъзстановяващи се (сбоеве), допълнителното време необходимо за възстановяване на оборудването след прекратяване на самия отказ е равно на нула и $\tau_в = \tau_{сб} = \frac{1}{\mu_{сб}}$, където τ_c е продължителност на сбоя, поради което (7) ще запишем във вида:

$$M[\tau_c] = Q + \frac{1 - e^{-\lambda Q}}{e^{-\lambda Q}} \left(Q + \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu_{сб}} \right)$$

Време за изпълнение на и процеси на предаване на информация при комплексно въздействие на потоци от кратковременни и устойчиви откази и потоци на фазиране

Нека се изпълнява процес на предаване на информация, като за времето на неговото изпълнение реализиращите го средства са подложени на въздействието на сбоеве (кратковременни откази), устойчиви откази и процеси на фазиране, количеството въздействия от които са случайни величини с поасонов закон на разпределение, съответно с параметри λ_c, λ_0 и $\lambda_ф$. Продължителността на сбоевете и процесите на фазиране са случайни величини с експоненциален закон на разпределение, съответно с интензивности μ_c и $\mu_ф$. Времето за възстановяване след устойчив отказ е случайна величина с експоненциален закон на разпределение с интензивност μ_0.

След самовъзстановяване на реализиращите процеса средства той продължава да се изпълнява от точката на прекъсване.

После възстановяването в резултат на устойчив отказ процесът на предаване на информация стартира отначало.

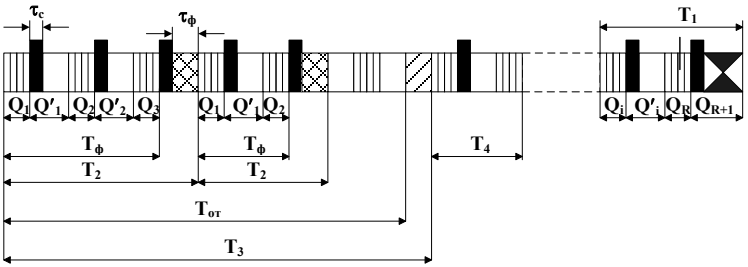
При възникване на необходимост от фазиране, след неговото извършване прекъснатият процес на предаване на информация се изпълнява отначало.

В указаните условия е необходимо да се определи математическото очакване $M[\tau_c]$ на времето τ_c на изпълнение на процеса на предаване на информация, ако за изпълнението му при отсъствие на посочените смущаващи въздействия се разходва времето Q.

Времевата диаграма на изпълнението на информационния процес е представена на фиг. 2.

През времевия интервал T_1 възникват само кратковременни прекъсвания и процесът на предаване на информация се изпълнява изцяло. За времето T_4

възникват кратковременни прекъсвания и процеси на фазиране; T_3 е времеви интервал в течение на който възникват кратковременни прекъсвания, устойчиви откази и процеси на фазиране.



Фиг. 2.

$$T_2 = T_\phi + \tau_\phi \tag{8}$$

$$T_3 = T_{om} + \tau_0 \tag{9}$$

$$T_\phi = \sum_{i=1}^{N+1} Q_i + \sum_{i=1}^{N} Q'_i \tag{10}$$

$$T_1 = \sum_{j=1}^{R+1} Q_j + \sum_{j=1}^{R} Q'_j \tag{11}$$

Съгласно времевата диаграма, изобразена на фиг. 2, общото време τ_c за изпълнение на информационния процес се състои от интервалите T_3, които могат да бъдат 1, 2, 3 ….., интервала T_4 и заключителния интервал T_1:

$$\tau_c = T_1 + T_3^{(1)} + T_3^{(2)} + ... + T_3^{(n)} + T_4 \tag{12}$$

Или:

$$\tau_c = T_1 + \sum_{i=1}^{n} T_3^{(i)} + T_4 \tag{13}$$

Ще въведем следните обозначения: p_0 – вероятност за безотказна работа за времето $\overline{Q}$ на изпълнение на процеса на предаване на информация с отчитане на възникващите кратковременни прекъсвания; q_0 - вероятност на възникване на един отказ за същото време:

$$p_0 = e^{-\lambda_0 \overline{Q}};$$
$$q_0 = 1 - p_0 = 1 - e^{-\lambda_0 \overline{Q}}, \tag{14}$$

където p_ϕ – вероятност, че за времето $\overline{Q}$ няма да възникне необходимост от фазиране и q_ϕ – вероятност за възникване на необходимост от фазиране за това време:

$$p_\phi = e^{-\lambda_\psi \overline{Q}};$$
$$q_\phi = 1 - p = 1 - e^{-\lambda_\psi \overline{Q}} \tag{15}$$

В [2] е получено следното съотношение за определяне на математическото очакване $M[\tau_c]$ на времето за изпълнение на информационния процес:

$$M[\tau_c] = Q\left(1 + \frac{\lambda_c}{\mu_c}\right) + \frac{q_\phi}{p_\phi}\left(1 + \frac{q_0}{p_0}\right)\left[\frac{(1 + \frac{\lambda_c}{\mu_c})(1 - e^{-\lambda_\psi \overline{Q}} - \lambda_\phi \overline{Q} e^{-\lambda_\psi \overline{Q}})}{\lambda_\Phi (1 - e^{-\lambda_\psi \overline{Q}})} + \frac{1}{\mu_\phi}\right] + \tag{16}$$

$$+ \frac{q_0}{p_0}\frac{1}{\mu_0},$$

където $\overline{Q} = Q\left(1 + \frac{\lambda_c}{\mu_c}\right)$.

В случай на наличие само на кратковременни прекъсвания и устойчиви откази изразът (16) ще добие следния частен вид:

$$M[\tau_c] = Q\left(1 + \frac{\lambda_c}{\mu_c}\right) + \frac{q_0}{p_0}\left[\frac{(1 + \frac{\lambda_c}{\mu_c})\left(1 - e^{-\lambda_0 \overline{Q}} - \lambda_0 \overline{Q} e^{-\lambda_0 \overline{Q}}\right)}{\lambda_0\left(1 - e^{-\lambda_0 \overline{Q}}\right)} + \frac{1}{\mu_0}\right] \tag{17}$$

където

$$p_0 = e^{-\lambda_0 \overline{Q}},$$

$$q_0 = 1 - p_0 = 1 - e^{-\lambda_0 \overline{Q}},$$

$$\overline{Q} = Q\left(1 + \frac{\lambda_c}{\mu_c}\right).$$

Изразът (17) представлява частен случай на (16) за условие на отсъствие на процеси на фазиране.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Nachev A. Reliability of Armament and Military Equipment. Sofia, Za bukvite, O'pismenekh, 2025.

[2] Nachev A. I. Information Processes in Computer Networks under Conditions of Real Reliability. Sofia, Military Publishing House, 2001.

[3] Nachev A. I. Applied Methods for Reliability Control Testing of Armament and Military Equipment. Sofia, Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science, Equipment and Technologies "Acad. Angel Balevski", Center of Hydro- and Aerodynamics, 2014.

[4] Nachev A. I. System-Level Design of Automated Control Systems. Sofia, Za bukvite, O'pismenekh, 2014.

[5] Nachev A. I. Technical Fundamentals of Communication and Information Technologies. Sofia, Za bukvite, O'pismenekh, 2014.

[6] Nachev A. I. Electronic Systems. Sofia, Za bukvite, O'pismenekh, 2014.

[7] Gindev E. Problems of Reliability and Its Applications. Yambol, Zhelyo Uchkov Publishing House, 2006.

[8] Gindev E. Introduction to the Theory and Practice of Reliability. Part 1: Fundamentals of Applied Reliability. Sofia, Academic Publishing House "Prof. Marin Drinov", 2000.

[9] Gindev E. Reliability and Efficiency of Technical Systems and Products. Sofia, Bulgarian Academy of Sciences, Central Laboratory of Control Systems, 1990.

[10] Gindev E. Reliability: Practical Aspects. Examples with Radio-Electronic Systems and Products. Book I. Sofia, Bulgarian Academy of Sciences, Central Laboratory of Control Systems, 1991.

[11] Golubev-Novozhilov. Multimachine Complexes of Computing Systems. Moscow, Soviet Radio, 1967.

[12] Anisimov V. V. Asymptotic Analysis of Reliability for Switching Systems in Light and Heavy Traffic Conditions. In: Recent Advances in Reliability Theory, Ed. by N. Limnios and M. Nikulin. Birkhäuser, Boston–Basel–Berlin, 2000.

ИНТЕЛИГЕНТНА АВТОМАТИЗИРАНА ПАРКИНГ ИНФРАСТРУКТУРА С ИНТЕГРИРАНИ AI СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТ

Силвия Х. Николова, Цветослав С. Цанков

INTELLIGENT AUTOMATED PARKING INFRASTRUCTURE WITH INTEGRATED AI SURVEILLANCE AND SECURITY SYSTEMS

Silvia H. Nikolova, Tsvetoslav S. Tsankov

ABSTRACT: *This report presents a conceptual model of an automated parking system, characterized by the integration of advanced mechanical solutions and intelligent video surveillance modules based on artificial intelligence. The designed track-like architecture offers an alternative to traditional cylindrical configurations, optimizing spatial distribution, shortening internal routes and increasing operational efficiency. The central place in the design is occupied by the dual lifting system with mutually balancing platforms, which reduces energy costs and ensures accelerated service cycles. A significant contribution to the increased functionality of the system is made by the AI-based video surveillance subsystems, which perform continuous semantic interpretation of visual flows, detect deviations from normal traffic patterns and identify risky situations in real time. Through self-learning and adaptive optimization mechanisms, these modules support the dynamic management of the vehicle flow, balancing the load on the lifting mechanisms and increasing the overall security of the site. The results of the analysis show that the integration of artificial intelligence into video surveillance, combined with precise engineering improvements, creates the prerequisites for building a more efficient, sustainable and safe urban parking infrastructure.*

KEYWORDS: *Intelligent parking, Automated management, Video surveillance, Self-learning, Lifting platforms, Urban environment, Safety, Efficiency*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25SNC

Въведение

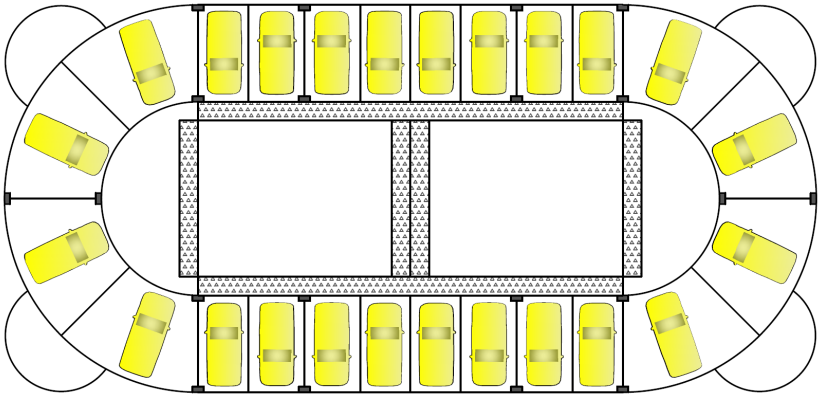
Проблемът с недостига на паркоместа в съвременните градове отдавна е надхвърлил рамките на удобството и се е превърнал в фактор, който влияе върху транспортната ефективност, качеството на въздуха и градската организация. С нарастването на броя на автомобилите, както и с ограничените възможности за разширяване на уличните паркинги, все по-голямо внимание се отделя на автоматизираните многоетажни системи за паркиране. Те позволяват значително

по-голям капацитет на ограничена площ, като същевременно намаляват времето за маневриране и риска от човешки грешки. [3], [7], [9]

През последните години инженерните решения в тази област се концентрират около цилиндричните паркинг-кули, които могат да бъдат подземни, надземни или комбинирани. Въпреки добрата им компактност, те имат редица недостатъци – ограничена скорост на обслужване при голям брой автомобили, висока енергийна консумация и сложност при осигуряване на едновременно движение на повече от една платформа. Тези наблюдения станаха основа за проучване на възможностите за внедряване на подобрени конструкции на съществуващи автоматизирани паркинги. Целта е не да се създаде напълно нов тип съоръжение, а да се усъвършенстват утвърдени принципи чрез интелигентно управление, повишена безопасност и по-добра организация на движението.

През последните години инженерните решения в тази област се концентрират около цилиндричните паркинг-кули, които могат да бъдат подземни, надземни или комбинирани. Въпреки добрата им компактност, те имат редица недостатъци – ограничена скорост на обслужване при голям брой автомобили, висока енергийна консумация и сложност при осигуряване на едновременно движение на повече от една платформа. Тези наблюдения станаха основа за проучване на възможностите за внедряване на подобрени конструкции на съществуващи автоматизирани паркинги. Целта е не да се създаде напълно нов тип съоръжение, а да се усъвършенстват утвърдени принципи чрез интелигентно управление, повишена безопасност и по-добра организация на движението.

Предложеният паркинг има форма, наподобяваща пистите за бягане около правоъгълно игрище (фиг. 1).



Фиг. 1. *Форма на паркинг*

Тази конфигурация позволява гъвкаво разпределение между подземните и надземните нива, без ограничение в съотношението им. Освен това осигурява естествено разделяне на потоците на влизащи и излизащи автомобили, което е

особено важно за намаляване на задръстванията при натоварени часове. Вътрешният транспорт на автомобилите се осъществява чрез двойна асансьорна система с противодействащи платформи – конструктивно решение, вдъхновено от системата, използвана във фабриката на Томаш Бата в Злин. Така се постига по-висока енергийна ефективност и надеждност в сравнение с традиционните асансьори с баластен противовес. [2], [6], [11]

Цели и практическа стойност на проучването

Целта на настоящото проучване е да се оцени и предложи усъвършенстван вариант за внедряване на полуавтоматизиран многоетажен паркинг с интелигентно управление. Подходът се основава на адаптиране на вече познати решения, като акцентът е върху тяхното доразвиване и практическа приложимост.

Основните задачи включват:

- анализ на ефективността на формата тип „писта“ спрямо цилиндричните конструкции;
- разработване на двойна система от противодействащи си платформи;
- създаване на интелигентен алгоритъм за управление и самообучение;
- въвеждане на система за адаптивна безопасност чрез видеонаблюдение.

Практическата стойност на проучването е в обединяването на механични подобрения и интелигентно управление в обща система, която съкращава времето за обслужване и повишава ефективността на съществуващи типове автоматизирани паркинги.

Конструктивно описание и принцип на работа

Предложеният полуавтоматизиран паркинг представлява многоетажна система, в която геометричната организация на паркоместата наподобява писти за бягане около правоъгълно игрище. Тази форма е избрана след анализ на натоварването при различни варианти и е доказано, че осигурява най-добър баланс между капацитет, достъпност и безопасност на движението. Всяко ниво съдържа два успоредни кръга от паркоместа – вътрешен и външен, разделени от транспортни коридори и подемни механизми. Така се осигурява непрекъснато движение в еднопосочен режим, без обратни завои и изчакване в тесни участъци.

Особеност на конструкцията е двойната асансьорна система, съставена от две платформи, които взаимно си служат като противовес. Това решение елиминира необходимостта от тежести и редуцира загубите на енергия. При движение на едната платформа нагоре, другата се спуска, като в същото време могат да бъдат обслужвани два автомобила – един влизащ и един излизащ. Този синхрон значително скъсява времето за достъп до всяко ниво и намалява натоварването върху задвижващите механизми. Конструкцията позволява модулно разширение, което прави системата приложима както за малки градски паркинги, така и за големи многоетажни комплекси.

Интелигентното управление на целия процес се осъществява чрез система за видеонаблюдение с алгоритъм за обучение и самообучение. Тя има ключова роля в оптимизирането на времето за влизане и излизане от паркинга. Камерите не са само наблюдателни устройства – те представляват сензорни възли, които

анализират поведението на автомобилите, скоростта на движение, времето за паркиране и образуването на опашки. Чрез машинно обучение системата постепенно усъвършенства стратегията си за управление, като например предвижда кога да подготви асансьора за идващ автомобил или да освободи място при очаквано напускане.

Системата използва натрупаните данни за изграждане на динамичен модел на натоварването през различните часове на денонощието. По този начин управлението ще се адаптира към реалните условия, вместо да следва предварително зададени статични сценарии. Тази особеност придава на паркинга характер на жива система, която се учи от собствената си работа.

За гарантиране на безопасността, видеомодулът изпълнява и функция за разпознаване на обекти и предотвратяване на опасни ситуации – например наличие на пешеходци в зона за маневриране или неправилно позициониране на автомобил върху платформата. Всички критични събития се подават към централния контролен модул, който има приоритет над автоматичното управление и може да спре движението мигновено при риск от инцидент.

Интелигентно управление чрез видеонаблюдение в полуавтоматизирания паркинг

Интелигентното управление чрез видеонаблюдение представлява ключов елемент в предложената концепция за полуавтоматизиран паркинг с повишена безопасност и ефективност. За разлика от класическите системи, при които камерите изпълняват единствено охранителна функция, в настоящото решение те са интегрирани като активна част от управленската архитектура (фиг. 2).

По този начин видеонаблюдението се превръща в основен източник на информация за състоянието на системата и нейното адаптивно управление в реално време. [5], [8]

Роля на камерите като сензорна подсистема

Камерите са разположени в стратегически зони на паркинга – входове и изходи, асансьорни платформи, транспортни коридори и паркоместа. Те функционират като визуални сензори, които непрекъснато събират данни за движението и позиционирането на автомобилите, както и за наличието на хора в зоните с повишен риск. Чрез обработка на видеопотока в реално време системата получава информация за:

- заетостта и освобождаването на паркоместата;
- скоростта и траекторията на движение на автомобилите;
- коректното позициониране върху подемните платформи;
- образуването на опашки и задръствания в критични участъци.

Тази информация се използва не само за текущ контрол, но и като входни данни за алгоритъма за интелигентно управление и самообучение.

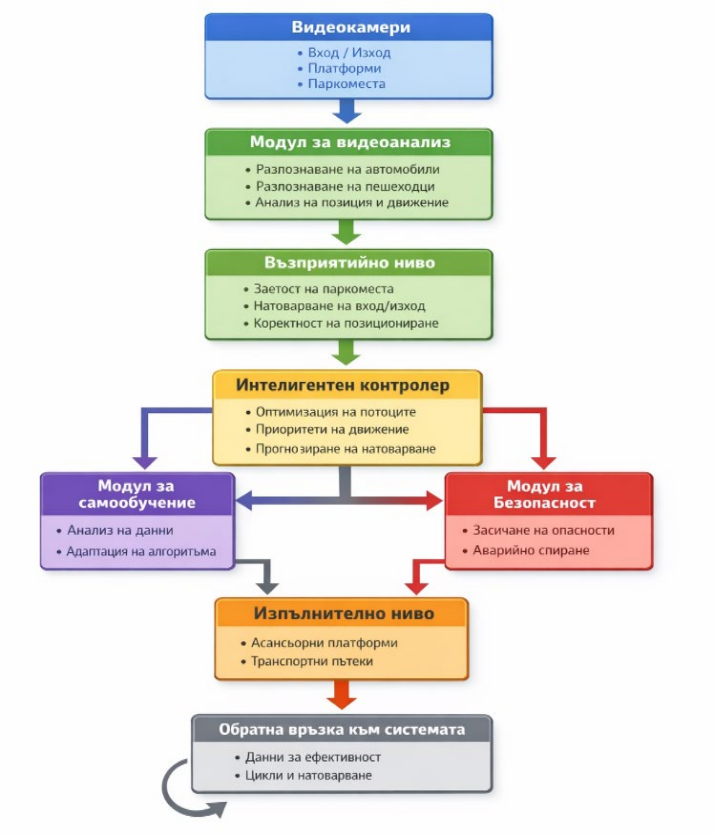
Видеоанализ и вземане на управленски решения

Обработката на видеоданните се извършва чрез алгоритми за компютърно зрение и разпознаване на обекти. Системата е способна да различава автомобили,

пешеходци и неподвижни препятствия, като оценява тяхното разположение и поведение. На тази основа се формират управленски решения, например:

— автоматично разрешаване или блокиране на движение на платформи;
— избор на оптимален маршрут за насочване на автомобила към свободно място;
— приоритизиране на излизащи автомобили при повишено натоварване;
— временно ограничаване на достъпа при наличие на опасна ситуация.

По този начин видеонаблюдението се превръща в активен инструмент за оптимизация на процесите, а не само в средство за последващ контрол.



Фиг. 2. *Схема на видеобазираното управление*

Интелигентна безопасност и превенция на инциденти

Особено значение има приносът на видеосистемата за повишаване на безопасността. Камерите осигуряват непрекъснат визуален контрол върху зоните,

където механичното движение крие най-голям риск. При засичане на пешеходец в зона за маневриране, неправилно поставен автомобил или неочаквано препятствие, системата автоматично задейства защитен режим. В този режим всички подемни и транспортни механизми се спират, а информацията се подава към централния контролен модул и оператора.

Този подход позволява предотвратяване на инциденти още на ранен етап, като се елиминира зависимостта от реакцията на човешкия фактор в критични ситуации. В сравнение със системи, разчитащи единствено на крайни изключватели и механични датчици, видеобазираното управление предлага значително по-високо ниво на предвидимост и защита.

Интеграция с интелигентния алгоритъм за самообучение

Съществено предимство на видеонаблюдението е възможността събраните данни да се използват за обучение на системата. Натрупаната информация за натоварването, времето за паркиране и поведението на потребителите се анализира и използва за изграждане на динамични модели. Благодарение на това управлението постепенно се адаптира към реалните условия на експлоатация.

Интелигентният алгоритъм, разработван в рамките на проекта, използва видеоданните за прогнозиране на бъдещи събития – например очаквано увеличаване на входящия трафик или освобождаване на определен брой места. Така камерите се превръщат не само в средство за наблюдение на настоящето, но и в инструмент за предвиждане и планиране.

Значение за ефективността на цялата система

Внедряването на интелигентно управление чрез камери позволява цялостната система да функционира като координиран организъм, в който механичните и софтуерните компоненти са тясно свързани. Намалява се времето за обслужване, повишава се пропускателната способност и се минимизират рисковете от грешки и инциденти. По този начин видеонаблюдението се утвърждава като основен фактор за постигане на целите на проекта – по-висока безопасност, адаптивност и ефективност на полуавтоматизирания паркинг.

Алгоритъм на интелигентното управление и самообучението

Управлението на паркинга е изградено върху комбиниран принцип, който обединява механично управление на платформите и интелигентен софтуерен контрол, работещ в реално време. Основният алгоритъм има модулна структура, включваща три нива: ниво на възприятие, ниво на вземане на решения и ниво на изпълнение.

1. Ниво на възприятие.

На това ниво действат сензорните подсистеми и камерите, разположени в стратегически точки на паркинга. Видеонаблюдението не се използва само за сигурност, а и като източник на данни за обучението на системата. Чрез анализ на изображения в реално време се определят свободните места, движението на автомобилите, моментното натоварване на входовете и изходите, както и времето,

необходимо за извършване на паркиране. Получените данни се подават към централния контролер, където се обработват от модула за самообучение.

2. Ниво на вземане на решения.

Тук се реализира същинският интелектуален контрол, разработен съвместно със Силвия. Алгоритъмът използва подход на машинно обучение, при който се изграждат зависимости между времето на натоварване и поведението на потребителите. В резултат на това системата започва да предвижда кога ще настъпят пикови моменти и предварително адаптира работата на платформите. Така се намалява вероятността от изчакване, а автомобилите се разпределят оптимално между различните нива.

Системата разполага и с блок за ситуационно разпознаване – когато например бъде засечено необичайно движение или застой, алгоритъмът временно променя приоритетите си и пренасочва автомобилите към по-свободна зона.

3. Ниво на изпълнение.

На това ниво се осъществява управлението на подемните механизми и транспортните пътеки. Използва се синхронизиран контрол на двете платформи, при който движението им се координира според натоварването и енергийната ефективност. Всеки цикъл на движение се регистрира и анализира, като данните отново се връщат към обучителния модул за самооценка на ефективността. С времето системата изгражда поведенчески модел, който ѝ позволява да взема все по-точни решения без човешка намеса. [2], [4], [10]

Сравнителен анализ и предимства на системата

Сравнението между предложения полуавтоматизиран паркинг и класическите цилиндрични конструкции е проведено по няколко основни критерия: време за обслужване, енергийна ефективност, капацитет на използваемост, ниво на безопасност и адаптивност към реални условия на натоварване. Резултатите показват, че новата система превъзхожда традиционните модели по всички посочени показатели. Обобщеното сравнение на основните времеви и експлоатационни показатели между цилиндричните паркинг системи и предложената конструкция е представено в табл. 3.

1. Време за обслужване.

При цилиндричните паркинги времето за достигане на конкретно ниво се определя от скоростта на асансьора и броя на междинните спирания. При предложената система, благодарение на двойните противодействащи платформи, времето за изчакване е съкратено с около 30–40%. Това се дължи на възможността за едновременно движение на два автомобила – един влизащ и един излизащ, което намалява престоя и елиминира нуждата от изчакване на пълен цикъл.

2. Енергийна ефективност.

Използването на платформен противовес вместо класически баластен осигурява по-добро разпределение на силите и минимални енергийни загуби. При всяко движение част от потенциалната енергия на спускащата се платформа се

използва за издигането на другата. Това води до редуциране на консумацията на електроенергия с приблизително 25% спрямо стандартните решения.

3. Капацитет и използваемост.

Благодарение на правоъгълната „писта“ с двупосочно разположение на паркоместата, капацитетът на съоръжението нараства средно с 15–20% спрямо цилиндричните структури със сходна площ. Тази форма позволява и по-добро разпределение на товарите върху носещата конструкция, което е особено важно при сгради с ограничена носимоспособност или при нужда от добавяне на подземни нива.

Таблица 1. *Обобщено сравнение на експлоатационните показатели на автоматизирани паркинг системи*

Показател	Цилиндричен паркинг	Предлагана система
Време вкарване	100–110 s	55–65 s
Време изкарване	100–110 s	45–55 s
Общ цикъл	200–220 s	100–120 s
Производителност/асансьор	≈36 коли/час	55–65 коли/час
Производителност (двойна система)	≈36 коли/час	110–130 коли/час
Човешки действия	Много	Почти нула
Видеоалгоритъм	Няма	Да

4. Безопасност.

Системата за интелигентно видеонаблюдение изпълнява двойна функция – контрол и обучение. Благодарение на постоянния визуален анализ, системата разпознава рискови ситуации още преди те да се превърнат в реална опасност. Например, ако автомобилът не е правилно позициониран върху платформата, или ако в зоната се засече пешеходец, движението се блокира автоматично. Това осигурява много по-високо ниво на безопасност в сравнение с паркинги, разчитащи единствено на механични сензори.

5. Адаптивност и самообучение.

Докато при класическите автоматизирани паркинги логиката на управление е предварително зададена, при настоящото решение системата се учи от реални ситуации. Алгоритъмът, разработен с участието на Силвия, анализира динамиката на потоците и реагира различно при различни часове от денонощието или при променен интензитет на движение. Така паркингът постепенно усъвършенства собствения си модел на поведение, без необходимост от честа човешка намеса.

В обобщение може да се каже, че предимствата на предложения полуавтоматизиран паркинг произтичат не само от механичните иновации, а и от съчетанието между интелигентно управление, видеобазирано самообучение и енергийна ефективност. Това го прави конкурентен както от инженерна, така и от икономическа гледна точка, особено при приложение в градски условия с ограничени площи. [1], [6], [9]

Заключение и насоки за бъдещо развитие

Извършеното проучване показва, че чрез сравнително малки инженерни промени в конструкцията и управлението на съществуващите автоматизирани паркинги може да се постигне значително повишаване на ефективността и безопасността. Подобренията, предложени в настоящата работа, са приложими както при ново строителство, така и при модернизация на действащи съоръжения.

Конструкцията му, базирана на форма, наподобяваща писта около правоъгълно игрище, осигурява висока плътност на паркоместата при едновременно съкращаване на времето за достъп и напускане. Въвеждането на двойна асансьорна система с взаимно компенсиращи се платформи доведе до повишаване на енергийната ефективност и надеждността, което го отличава от традиционните цилиндрични и кулообразни решения.

Особен принос на проекта е включването на интелигентна система за видеонаблюдение, която освен контрол изпълнява и функции на самообучаващ се модул. Това позволява не само наблюдение на процесите, но и тяхното предвиждане и адаптация в реално време. Така управлението на паркинга придобива характеристиките на жива система, която се усъвършенства с натрупването на опит и данни от собствената си експлоатация. Този подход, разработен с активното участие на Силвия, демонстрира как взаимодействието между изкуствен интелект, инженерна автоматизация и човешка експертиза може да доведе до качествен скок в ефективността на инфраструктурните системи.

В бъдеща перспектива се предвижда интегриране на системата в интелигентни градски платформи, които да позволяват комуникация с навигационни приложения и електронни системи за плащане. Това ще осигури възможност за предварително резервиране на място, автоматично разпознаване на регистрационни номера и оптимизация на паркирането в мащаб на цял квартал или зона. Възможно е и надграждане на обучителния алгоритъм чрез използване на невронни мрежи, които да разпознават модели на поведение на потребителите и да адаптират управлението според тях.

Предложеният проект има потенциал да се превърне в практическо решение за модерните градски пространства, където времето, безопасността и енергийната ефективност са решаващи фактори. Той представлява реална стъпка към бъдещето на автоматизираните инфраструктурни системи, в които машините не само изпълняват команди, но и се учат да мислят като инженерите, които ги създават. [1], [3], [8]

Практическото изпитване на предложените решения в реални условия ще позволи натрупване на данни за по-точно обучение на алгоритъма и по-добра

адаптация към различни градски среди. Така се поставя основа за реално внедряване, а не само за теоретично разглеждане на концепцията. [5], [11]

ЛИТЕРАТУРА

[1] Denev D., Staneva L. Real-time network traffic analysis using recurrent neural models. Journal Scientific and Applied Research, Vol. 28, 2025, ISSN 1314-6289, pp. 216–225.

[2] Denev D., Hristova E. Using mobile devices for real-time recognition and surveillance. Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIV E, 2024, ISSN 1314-8818, pp. 243–250.

[3] Denev D., Dimitrova E. Security and vulnerabilities in ZigBee technology. Annual of Konstantin Preslavski University of Shumen, Vol. XIV E, 2024, ISSN 1314-8818, pp. 92–97.

[4] Danev A., Denev D. Intelligent garage door control system via PLC with built-in safety sensors. Proceedings of Defense Technology Forum, Shumen, 2025, ISSN 2815-4282, pp. 648–655.

[5] Atanasov V., Trifonov T. A new model of ultra wideband sensors based interactive system. International Journal on Information Technologies and Security, Vol. 16, No. 1, 2024, ISSN 1313-8251, pp. 39–48.

[6] Атанасов В., Иванова А. Анализ на програмните модели за автоматизиране на когнитивни процеси. Стратегии на образователната и научната политика, Volume 32, Number 5s, 2024, ISSN: 1310–0270.

[7] Stoyanova V. Visual identity of optoelectronic devices. Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies” DefTech 2024, Shumen, ISSN 2367-7902, pp. 625–631.

[8] Georgiev I., Stoyanova V. One way for creating visual effects. Industry 4.0, 2018, 3.2: 90-93.

[9] Stoyanova V. Use of JPEG images for steganographic communication. KNOWLEDGE International Journal Scientific, Solun, Greece, September, 2017, V. 19.3, pp.1339-1344, ISSN 1857-923X.

[10] Ivanov T., Petrova L. Algorithm for defining and analysis of the precise and relative amplitude-frequency and phase-frequency. Academic Open Internet Journal, Issue 4, 2001, ISSN 1311-4360.

[11] Ivanov V. Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering; International Scientific Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems – CIEES 2021, AIP Conf. Proc. 2570, 030010-1–030010-8, ISBN: 978-0-7354-4375-4.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОТОКОЛА MCP ПРИ АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА МРЕЖОВИ КОНФИГУРАЦИИ

Мустафа Б. Узун

APPLICATION OF THE MODEL CONTEXT PROTOCOL IN AUTOMATED NETWORK CONFIGURATION MANAGEMENT

Mustafa B. Uzun

ABSTRACT: *The Model Context Protocol (MCP) represents an emerging architectural approach for automated network configuration management by introducing standardized, context-aware interactions between intelligent agents and network control systems. This paper examines the application of MCP in intent-driven network automation, where operational context, device state, and policy constraints are persistently modeled and exchanged across automation workflows. By decoupling human intent from vendor-specific interfaces, MCP enables adaptive configuration, closed-loop validation, and autonomous remediation in heterogeneous network environments. The protocol supports integration with programmable interfaces such as NETCONF, REST APIs, and CLI-based tools, while maintaining traceability and consistency of network state. The proposed approach enhances scalability, reduces configuration drift, and improves operational resilience, positioning MCP as a foundational enabler for intelligent, AI-assisted network management in modern programmable networks.*

KEYWORDS: *Model Context Protocol (MCP), Intent-Based Networking (IBN), SDN (Software Defined Networking), AI (Artificial Intelligence), LLM (Large Language Model), Network Automation, Network Programability*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MUB

1. Въведение

Нарастващата сложност, мащаб и динамика на съвременните мрежи ускоряват необходимостта от мрежи базирани на намерения Intent-Based Networking (IBN) до автономни, които намаляват човешката намеса и оперативния риск [4]. Парадигмите за мрежова автоматизация и програмируемост се справят с тези предизвикателства, като използват програмируеми интерфейси, телеметрия, управление чрез модели, и системи за управление със затворен цикъл, за да се осигури ефективна и надеждна работа. Всички това се обединява в логически архитектурния модел на софтуерно-дефинираните мрежи Software-Defined Networking (SDN) [10]. Той се разработва и все още развива от множество

независими организации с участието на почти всички водещи компании, които са пионери в телекомуникационната индустрия и намира практически различни решения в лицето на Open Network Foundation (ONF) [15]. Новите модели предлагат унифицирани методи за управление и лесна интеграция с други софтуерни системи, но те все още силно зависят от спецификациите на отделните производители. То може да се разгледа като преход от лесен за разбиране от човек Command Line Interface (CLI) и Graphical User Interface (GUI) към труден за разбиране от човек северен интерфейс Northbound Interface (NBI) и южен интерфейс Southbound Interface (SBI), които са много подходящи за комуникация между машини Machine to Machine (M2M) [16].

В този контекст протоколът за контекстно моделиране Model Context Protocol (MCP) се очертава като нова рамка, предназначена да стандартизира обмена на контекстуална информация между агенти с изкуствен интелект AI (Artificial Intelligence), контролери за автоматизация или отделните компоненти на дадена мрежова инфраструктура [6]. Основния и най-важен проблем, който той разрешава е възможността за запазване на добре познатият стар модел за взаимодействие с мрежови устройства "човек-машина" Human to Machine (H2M), в лицето на CLI или GUI, като се добави нова равнина в модела, който използва "контекст", за взаимодействие с мрежови устройства без да е нужно да се познават спецификациите на дадено CLI или GUI.

2. Градивни блокове на MCP при автоматизираното управление на мрежови конфигурации

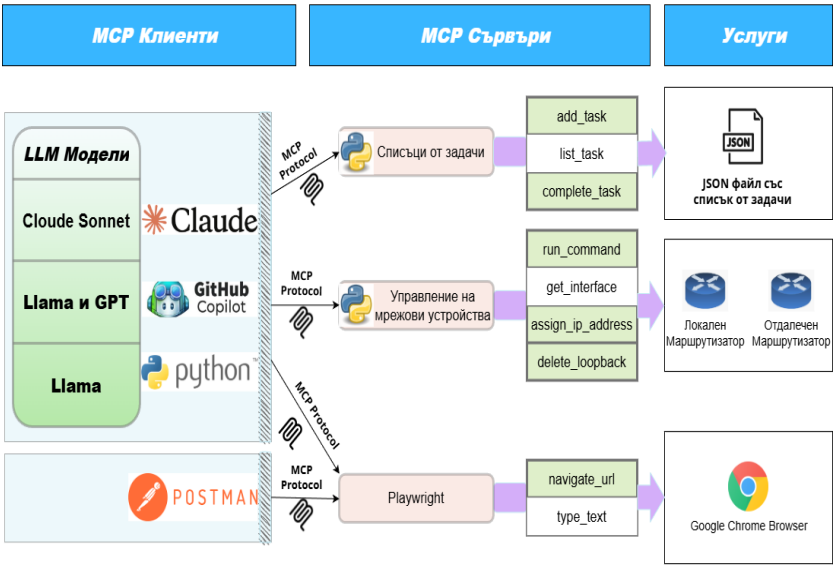
MCP следва клиент-сървър архитектура, при която MCP хост с AI приложение, като Claude, Python или ChatGPT установява връзки с един или повече MCP сървъри, чрез един или повече MCP клиенти, които работят заедно с приложението. MCP клиентите поддържат специални индивидуални връзки със съответните MCP сървъри, подобно на посредник (gateway) между MCP клиента и целевите системи, като например мрежови устройства или SDN контролери. По този начин може да се постигне управление базирано на намерения (intent-based), контекстно-осъзнато и контролирано изпълнение на задачи по управление на конфигурации (Фиг. 1).

2.1. MCP хост

MCP хост представлява изпълнителна среда, в която могат да се стартира MCP клиент и/или с MCP сървър [6]. Той може да бъде реализиран като:

— локален процес на работната станция на оператора
— специализиран сървър за автоматизиране
— контейнеризирана или виртуализирана услуга в център за данни или облачна среда

MCP хостът отговаря за управлението на жизнения цикъл, сигурността, изолацията на идентификационни данни и свързаността с мрежовите ресурси. В архитектурите за мрежова автоматизация MCP хост може да бъде сравнен с контролна равнина (Control Plane) дефинирана в RFC 7426 Software-Defined Networking [1].



Фиг. 1. *Примерна диаграма за управление на мрежова конфигурация с MCP*

2.2. MCP клиент

MCP клиентът е отговорен за интерпретацията базирана на намерения (intent-based) и оркестрацията на конфигурационни работни потоци. Той използва Large Language Model (LLM) за анализ на намеренията, декомпозиция на задачите и избор на подходящи инструменти [6], [8]. В автоматизираното мрежово управление MCP клиент функционира като интелигентен оркестратор, концептуално съответстващ на интерпретация базирани на намерения (intent-based networking) в архитектурите дефинирани от IETF [9].

2.3. MCP сървър

MCP сървърът предоставя достъп до автоматизирани инструменти и налага политики за изпълнение. Той валидира входните параметри, управлява контекста на изпълнение и посредничи между MCP клиент и подлежащите системи [6]. В мрежовите среди MCP сървър често се интегрира със системи за управление на мрежи Network Management Systems (NMS), SDN контролери или инструменти за автоматизация, като Ansible и NETCONF базирани платформи [10], [11].

2.4. Транспортни протоколи и модели на разполагане

Комуникацията между MCP клиента и MCP сървъра разчита на транспортни механизми, които варират в зависимост от топологията на внедряване. Според мястото на разположение на MCP сървърът в избраната архитектура то може да бъде разположен локално или отдалечено.

— **Локално разполагане на MCP сървър:**

Когато MCP сървърът е колокиран при MCP клиента например на същия MCP хост, комуникацията обикновено се осъществява чрез:

- стандартен вход/изход Standard Input/Output (stdio)
- междупроцесна комуникация Inter-Process Communication (IPC)
- локални сокети

Този модел минимизира латентността и е подходящ за лабораторни среди, (proof-of-concept) решения или строго контролирани хостове.

— **Отдалечено разполагане на MCP сървър:**

Когато MCP сървърът е разположен отдалечено например в център за данни или облак комуникацията разчита на мрежови транспортни протоколи като:

- HTTPS върху TCP
- защитени WebSocket връзки
- REST-подобни или RPC-базирани съобщения върху криптирани канали

Тези транспортни механизми осигуряват мащабируемост, достъп от множество клиенти и централизирано управление, но изискват допълнителни механизми за автентикация, оторизация и защита на преноса.

Изборът на транспортен протокол оказва пряко влияние върху надеждността, латентността и сигурността на автоматизираните конфигурационни работни потоци.

2.5. Слой за интеграция на инструменти

Инструментите представляват изпълнителният слой на MCP и осигуряват директно взаимодействие с мрежови устройства и системи. Типичните инструменти включват:

— CLI достъп чрез Secure Shell (SSH)

— програмни интерфейси, като REST, NETCONF и RESTCONF

— инструменти за автоматизирано управление, като Ansible и Nornir [11], [12]

MCP стандартизира описанието на тези инструменти, което позволява на интелигентният агент да ги извиква динамично и безопасно [6].

2.6. Управление на работните потоци със затворен цикъл

MCP поддържа детерминирани работни потоци, включващи откриване на текущото състояние, генериране на конфигурация, валидация, прилагане и (rollback) механизми. Този подход е в съответствие с принципите на затворената автоматизация (Closed-Loop Automation), при която телеметричната обратна връзка непрекъснато подпомага вземането на решения и прилагане на коригиращи действия [9], [14].

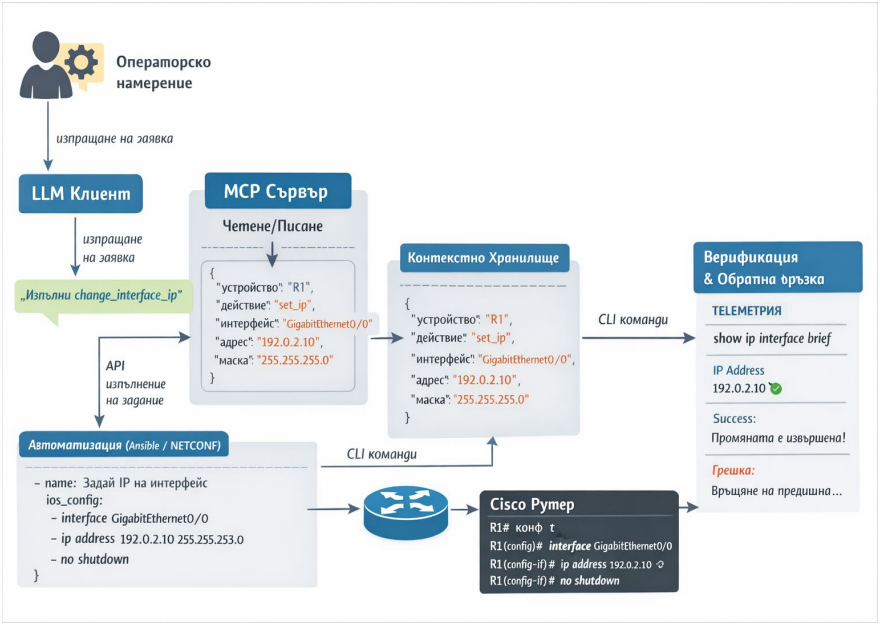
2.7. Обратна връзка и наблюдение

Резултатите от изпълнението, включително индикатори за успех, съобщения за грешки и телеметрични данни, които се връщат към MCP клиент. Този “feedback” механизъм подобрява проследимостта, адаптивността и

оперативната устойчивост на автоматизираните системи за мрежово управление [10], [14].

3. Работен процес при управление на мрежови конфигурации с MCP

Диаграмата илюстрира работен поток от край до край (end-to-end) за автоматизирано управление на мрежова конфигурация, чрез MCP, като се използва конкретен сценарий за промяна на IP адрес на интерфейс на маршрутизатор/рутер с мрежова операционна система Cisco IOS (Фиг. 2).



Фиг. 2. *Примерен работен процес при управление на мрежови конфигурации с MCP*

Етапи на работните процеси при управление на мрежови конфигурации с MCP:

1. Процесът започва от "операторско намерение", формулирано на естествен език (говор или писмено). Това намерение се приема от LLM клиент, който интерпретира заявката след, което я трансформира в структурирано извикване на MCP инструмент (tool) например "change_interface_ip", като комуникацията на този етап е на ниво H2M и API заявка.

2. MCP сървърът, който изпълнява централната роля в архитектурата чете и записва данни в контекстното хранилище, където се поддържа модел на текущото състояние, желаното състояние, ограниченията и историята на промените.

Контекстът е представен в машинно-четим формат JavaScript Object Notation (JSON), което позволява последователност, проследимост и възможност за автоматично вземане на решения.

3. MCP сървърът взаимодейства със инструментите за автоматизирано управление, като Ansible или NETCONF, чрез стандартни програмируеми интерфейси (API). Тук протоколът за контекстно моделиране се преобразува в конкретни конфигурационни действия. Те се изпълняват върху мрежовото устройство чрез CLI команди на Cisco IOS.

4. След прилагане на конфигурацията системата преминава в етап верификация и обратна връзка, чрез телеметрия или диагностични команди например “show ip interface brief`” се проверява дали реалното състояние съответства на желаното. Резултатът е (успех или грешка) се връща обратно в MCP контекста, което затваря затворения управляващ цикъл (Closed-Loop Automation) и позволява автоматично възстановяване или допълнителни коригиращи действия.

Тази диаграма демонстрира как MCP свързва човешкото намерение, AI логиката и мрежовата инфраструктура в единен контекстно-осъзнат и мащабируем модел за модерно програмируемо управление на мрежи.

4. Заключение

Чрез въвеждането на абстракция на MCP хост и гъвкави транспортни механизми, MCP позволява както локални, така и разпределени модели за внедряване за автоматизирано управление на мрежовата конфигурация. Тази архитектурна гъвкавост позволява на MCP да работи ефективно в лабораторни, корпоративни и облачни мрежови среди, като същевременно поддържа сигурна, контекстно-осъзната и ориентирана към намеренията автоматизация.

ЛИТЕРАТУРА

[1] RFC 7426. Software-Defined Networking (SDN): Layers and Architecture Terminology. IETF, 2015. Available from: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7426.

[2] Bjorklund O. NETCONF and YANG. IEEE Communications Standards Magazine, 2021.

[3] Clemm A. Network Telemetry: Real-Time Visibility and Analytics. Morgan Kaufmann, 2020. ISBN 978-0128182407.

[4] Cisco Systems. Intent-Based Networking Overview. Technical White Paper, 2019.

[5] Feamster N. et al. Automating Network Management. ACM SIGCOMM Tutorial, 2020.

[6] OpenAI. Model Context Protocol – Server Concepts. Technical Documentation, 2024.

[7] Clemm A. Network Management Fundamentals. Cisco Press, 2006. ISBN 978-1587201370.

[8] Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th edition, Pearson, 2021. ISBN 978-0134610993.

[9] Clemm A. et al. Intent-Based Networking – Concepts and Definitions. RFC 9315, IETF, 2023.

[10] Kreutz D. et al. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. Proceedings of the IEEE, 2015.

[11] Lowe S. et al. Network Programmability and Automation. O'Reilly Media, 2018. ISBN 978-1491931252.

[12] Cisco Systems. NETCONF and RESTCONF Overview. White Paper.

[13] Kim H., Feamster N. Improving Network Management with Software Defined Networking. IEEE Communications Magazine, 2013.

[14] Jain R. Closed-Loop Automation in Modern Networks. IEEE Press, 2020. ISBN 978-1119655538.

[15] Open Networking Foundation (ONF). Official website, December 22, 2025. Available from: https://opennetworking.org.

[16] Pinto I. Network Automation Made Easy. Cisco Press. ISBN-13: 978-0-13-750673-6

ИНЖЕНЕРНАТА ЕКОЛОГИЯ КАТО ИНСТРУМЕНТ ЗА УСТОЙЧИВО ПРОЕКТИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ

Йорданка И. Янкова-Йорданова

ENGINEERING ECOLOGY AS A TOOL FOR SUSTAINABLE DESIGN AND MANAGEMENT OF MANUFACTURING SYSTEMS

Yordanka I. Yankova-Yordanova

ABSTRACT: *Engineering ecology has emerged as a key interdisciplinary field that integrates engineering principles with environmental protection requirements. This article examines the role of engineering ecology in the design and management of manufacturing systems, with a focus on minimizing environmental impacts, optimizing resource use, and improving sustainability performance. Engineering models, assessment methods, and performance indicators are analyzed to demonstrate how ecological criteria can be systematically integrated into engineering decision-making. The results highlight the importance of engineering ecology as a practical tool for sustainable industrial development.*

KEYWORDS: *Engineering ecology, Sustainable manufacturing, Environmental impact, Industrial systems, Optimization*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25YYP

1. Теоретични основи на инженерната екология

Същност и развитие на инженерната екология

Инженерната екология представлява интердисциплинарна област, която обединява инженерните науки с екологичните принципи с цел ограничаване на негативното въздействие на техническите системи върху околната среда. Тя се развива в отговор на нарастващите екологични проблеми, свързани с индустриализацията, интензивното използване на ресурси и генерирането на замърсявания.

Ефективната инженерна логистика изисква комбинация от технологични и човешки компетенции. Ергономията играе ключова роля - осигуряване на безопасни и комфортни условия на труд, намаляване на физическото и психическото натоварване и повишаване на производителността на инженерния персонал. [9]

За разлика от класическата екология, която се фокусира върху природните системи, инженерната екология е насочена към анализ, проектиране и управление на антропогенни системи. Основната ѝ цел е създаването на технически решения, които съчетават икономическа ефективност и екологична отговорност [1].

Инженерната екология в контекста на устойчивото развитие

Устойчивото развитие изисква балансирано взаимодействие между икономически, социални и екологични фактори. Инженерната екология заема ключово място в този контекст, тъй като предоставя инструменти за количествено измерване и управление на екологичните въздействия на производствените системи. От дълги години инженерният опит е установил от практиката необходимостта да се има предвид правата и обратната взаимозависимост сред отделните периоди от време в процеса по създаване, производство и експлоатация на технически обект. [8]

Чрез прилагане на инженерни методи е възможно да се идентифицират критични точки в производствените процеси, които водят до повишено потребление на ресурси или генериране на замърсявания. Това позволява разработване на целенасочени решения за подобряване на екологичните показатели още на етап проектиране [2].

Роля на инженерната екология в индустриалните системи

В съвременните индустриални системи инженерната екология се прилага при проектирането на производствени линии, логистични системи, енергийни инсталации и системи за управление на отпадъците. Тя подпомага интегрирането на екологични критерии в инженерните решения и улеснява съответствието с нормативните изисквания.

Отвъд корпоративната среда, дигиталните технологии имат по-широки социални и икономически последици:

— Промени на пазара на труда и уменията: нарастващо търсене на дигитални компетенции.

— Неравенство между групите и регионите: дигиталното разделение може да задълбочи неравенствата.

— Въздействие върху публичния сектор и държавните услуги: дигитална администрация и електронно управление. [10]

Сигурността е ключово предимство на блокчейн технологията в управлението на веригата за доставки. Децентрализацията по природа на блокчейна, съчетана с усъвършенстваните криптографски техники, гарантира, че всички чувствителни данни, свързани със сигурността, се записват и предават сигурно в мрежата. [11] Тази технология има потенциал за по-тясно обвързване с инженерната екологията. Дигиталната верига за доставки (DSC) е интелигентен, ориентиран към стойността, ефективен процес за генериране на нови форми на приходи и бизнес стойност за организациите и използване на нови подходи с нови технологични и аналитични методи. [12] Това са отлични възможности за интегриране с инженерната екология. Общата концепция за прилагане на инженерната екология в производствените системи е представена на Фигура 1.

2. Инженерни методи и модели в инженерната екология

Методи за оценка на екологичното въздействие

Оценката на екологичното въздействие е основен инструмент на инженерната екология. Тя включва систематичен анализ на въздействията върху въздуха, водите, почвите и екосистемите, причинени от инженерни дейности.



Фиг. 1. *Концепция на инженерната екология*

Сред най-широко използваните методи са:

— оценка на жизнения цикъл (Life Cycle Assessment – LCA);
— екологична оценка на проекти (Environmental Impact Assessment – EIA);
— анализ на материалните и енергийните потоци.

Тези методи позволяват количествено сравнение на различни инженерни решения и подпомагат избора на екологично по-ефективни технологии [3].

Инженерни модели за оптимизация на ресурсите

Оптимизацията на използването на ресурси е централен аспект на инженерната екология. Чрез инженерни модели могат да се анализират потоците на суровини, енергия и вода в производствените системи с цел минимизиране на загубите.

Използването на математически и симулационни модели позволява оценка на различни сценарии за подобряване на ресурсната ефективност. Това включва оптимизация на технологичните параметри, повторна употреба на материали и внедряване на енергийно ефективни решения [4].

Инженерна екология и логистични системи

Логистичните системи имат съществен принос към екологичния отпечатък на предприятията чрез транспорт, складиране и вътрешнозаводски операции. Инженерната екология предлага модели за оптимизация на логистичните процеси с цел намаляване на емисиите и енергийното потребление.

Чрез интегриране на екологични критерии в логистичното проектиране могат да се постигнат значителни подобрения на екологичните показатели. Взаимовръзката между инженерната екология и логистичните системи е илюстрирана на Фигура 2.



Фиг. 2. *Екологични потоци в производствена система*

3. Приложение и анализ на инженерната екология в производствени системи

Показатели за оценка на екологичната ефективност

Оценката на екологичната ефективност изисква използване на система от показатели, които отразяват въздействието на производствените системи върху околната среда. Сред основните показатели са:

- емисии на замърсители;
- енергийна интензивност;
- използване на природни ресурси;
- количество генерирани отпадъци.

Таблица 1. *Примерни показатели за екологична ефективност*

Показател	Преди оптимизация	След оптимизация
Енергийна интензивност	100	70
Отпадъци (kg/ед.)	1.20	0.75
Емисии (CO_2)	1.00	0.65

Анализ на резултатите

Резултатите от прилагането на инженерно-екологични модели показват значително подобрение на екологичните показатели на производствените системи. Намаляването на енергийната интензивност и количеството отпадъци води до по-ниско натоварване на околната среда и повишаване на общата ефективност на системите.

Допълнително се установява, че системният инженерен подход улеснява идентифицирането на ключови източници на екологично въздействие и подпомага вземането на обосновани управленски решения. Това потвърждава практическата приложимост на инженерната екология като инструмент за устойчиво управление [5].

Значение за инженерното проектиране и управление

Интегрирането на принципите на инженерната екология още на етап проектиране позволява предотвратяване на бъдещи екологични проблеми и намаляване на необходимостта от коригиращи мерки. Това изисква интердисциплинарен подход, при който екологичните изисквания се разглеждат заедно с техническите и икономическите параметри.

Процесът на анализ, моделиране и оптимизация на инженерно-екологичните решения е представен на Фигура 3.



Фиг. 3. *Инженерен модел за екологична оценка и оптимизация*

Освен това инженерната екология подпомага стандартизирането на процесите за екологична оценка и управление, което улеснява внедряването на добри практики в различни производствени сектори. Чрез използване на количествени модели и ясно дефинирани показатели се създава възможност за сравнение на алтернативни инженерни решения и избор на оптимални варианти с минимално екологично въздействие. Това превръща инженерната екология в ефективен инструмент за стратегическо планиране и дългосрочно управление на производствените системи. Това превръща инженерната екология в ефективен инструмент за стратегическо планиране и дългосрочно управление на производствените системи, като съвременните изследвания подчертават ролята на инженерно-екологичните модели при вземането на устойчиви проектни решения [7].

Известно е, че в последното десетилетие използването и еволюцията на информационните и комуникационните технологии (ИКТ) навлизат все повече в индустриалните производствени предприятия. Високата необходимост от прозрачност (видимост на веригата за доставки), както и контрол на целостта (правилни продукти, в точното време, място, количествено състояние и на точната цена) във веригите за доставки насочват към концепцията за Логистична индустрия 4.0. [13] Обвързването на тези технологии с инженерната екология са меко казано задължителни.

Чрез този подход инженерната екология се утвърждава като ключов фактор за устойчиво управление на производствените системи [6].

Заключение

Инженерната екология представлява съществен инструмент за устойчиво проектиране и управление на съвременните производствени системи. Чрез прилагане на инженерни методи и модели е възможно систематично да се анализират и минимизират екологичните въздействия, без да се компрометира икономическата ефективност.

Резултатите от разгледаните подходи показват, че интегрирането на екологични критерии в инженерните решения води до по-добро използване на ресурсите, намаляване на емисиите и подобряване на екологичните показатели. В дългосрочен план това допринася за повишаване на конкурентоспособността и устойчивостта на индустриалните предприятия.

Инженерната екология, прилагана още на етап проектиране, създава предпоставки за развитие на по-екологично ориентирани производствени системи и подпомага прехода към устойчив индустриален модел.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bai, C., Sarkis, J. Environmental sustainability in industrial systems. Journal of Cleaner Production, 2021.

[2] Bocken, N., Short, S., Evans, S. Sustainable engineering and systems design. Sustainable Production and Consumption, 2021.

[3] Hauschild, M., Rosenbaum, R., Olsen, S. Life cycle assessment in engineering practice. Journal of Industrial Ecology, 2020.

[4] Klemeš, J., et al. Resource optimization and cleaner production. Resources, Conservation & Recycling, 2021.

[5] Ranjbari, M., et al. Engineering ecology and sustainable systems. Journal of Cleaner Production, 2022.

[6] Tseng, M.-L., Lim, M., Wong, W. Engineering-based environmental performance assessment. Sustainable Production and Consumption, 2022.

[7] Zhang, X., et al. Environmental engineering models for industrial sustainability. Environmental Impact Assessment Review, 2023.

[8] Stoyanov Sv., Georgieva Zh., Yordanov N., За рационалните решения в контекста на интралогистиката, сборник научни трудове, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921

[9] Yankova-Yordanova Y., Doychinov Y., Vachinska-Aleksandrova S., Yordanov N., Research on the application of ergonomics in activities related to engineering logistics, Journal scientific and applied research, Vol. 28, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.77-90

[10] Yordanov N., Yankova-Yordanova Y., New digital technologies challenges and opportunities, Journal scientific and applied research, Vol. 29, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.98-106

[11] Йорданов Н., Блокчейн технология в управлението на веригата за доставки: Текущи приложения и бъдещи перспективи, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 11-21, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[12] Йорданов Н., Дигитални технологии в управлението на веригите за доставки, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 22-34, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[13] Стоянов, Св., Георгиев Г., Йорданов Н., За управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия. – Сборник доклади от Научна конференция „Логистиката и обществените системи” (Велико Търново, 16 – 17 март 2023 година) – Том 3, Научно направление „Бизнес логистика”, Велико Търново, 2023, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 139 – 144 (9 стр. БДС), ISSN 2738-8034.

ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ В ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИ ОТ СПЕЦИАЛНОСТ „ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА“ – МЕЖДУНАРОДЕН КОНТЕКСТ И ТЕОРЕТИЧЕН МОДЕЛ

Йорданка И. Янкова-Йорданова

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATION OF ENGINEERING LOGISTICS STUDENTS – INTERNATIONAL CONTEXT AND THEORETICAL MODEL

Yordanka I. Yankova-Yordanova

ABSTRACT: *In the context of digital transformation and Industry 4.0, artificial intelligence (AI) is establishing itself as a leading technology in industry and education. This article examines the implementation of AI in the education of students majoring in Engineering Logistics, focusing on international experience (Bulgaria, Germany, Japan, USA) and proposes a theoretical model for the integration of AI into university practice. The analysis shows that the successful implementation of AI requires a combination of technological infrastructure, pedagogical adaptability and industrial cooperation.*

KEYWORDS: *Artificial intelligence, Engineering logistics, Higher education, Digital transformation, Adaptive learning, AI-LogEdu model*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25YYR

Увод

В последното десетилетие изкуственият интелект се превърна в ключов двигател на иновациите в логистиката, производството и образованието. [9] Специалност „Инженерна логистика“ изисква усвояване на знания за моделиране, оптимизация и управление на сложни системи, което прави внедряването на ИИ в учебния процес логично и необходимо. [1]

Известно е, че в последното десетилетие използването и еволюцията на информационните и комуникационните технологии (ИКТ) навлизат все повече в индустриалните производствени предприятия. Високата необходимост от прозрачност (видимост на веригата за доставки), както и контрол на целостта (правилни продукти, в точното време, място, количествено състояние и на точната цена) във веригите за доставки насочват към концепцията за Логистична индустрия 4.0. [17]

Според OECD (2023), над 65% от университетите в развитите държави вече използват ИИ технологии в обучението, докато в Източна Европа този процент все още не надвишава 30%. В България усилията се концентрират

основно върху дигитализация на учебните материали и отделни курсове, но интеграцията на ИИ като инструмент за обучение е в начален етап. [8]

Приложение на ИИ в инженерната логистика

Инженерната логистика използва изкуствен интелект за анализ на транспортни мрежи, оптимизация на маршрути, предсказване на търсене и управление на складови системи. [4]

В образователен контекст това се проявява чрез използването на симулации и дигитални близнаци (digital twins), които позволяват на студентите да експериментират с реални сценарии и да усвояват практически знания.



Фиг. 1. *Приложения на ИИ в логистиката*
Източник: Chen et al. (2024)

Международен контекст: сравнение между България, Германия, Япония и САЩ

Бизнес моделите на някои компании (напр. Google, Amazon, Alibaba, Airbnb, Uber) са основно изградени върху цифрови технологии. Други компании, независимо дали съществуват от пет, десет, двадесет или дори сто години, са принудени да трансформират и възприемат цифровите технологии, за да се конкурират. [16]

България

Българските университети (напр. Технически университет – София, Русенски университет и Варненски свободен университет) постепенно внедряват елементи на ИИ в курсовете по логистика, главно чрез използване на симулационни програми като AnyLogic и MATLAB. Според доклад на Министерството на образованието (2024), ИИ в България се използва предимно за анализ на учебни данни и подпомагане на преподаването, но липсва стратегическа интеграция на национално ниво.

Германия

Германия е лидер в Европа по въвеждане на ИИ в инженерното образование. Техническият университет в Мюнхен (TUM) и Университетът в Щутгарт интегрират ИИ лаборатории за логистика, където студентите разработват алгоритми за управление на вериги за доставки. [10]

Германският модел се характеризира с тясно сътрудничество между университетите и индустрията (Siemens, DHL, Bosch).

Япония

Япония прилага философията „Човек–машина синергия“ в образованието. [7] Университетите, като Tokyo Institute of Technology, използват ИИ в адаптивни обучителни системи и роботизирани симулатори за логистични процеси. В японския модел акцентът е върху хуманизацията на технологиите – студентите се обучават да използват ИИ като помощник, а не заместител.

Съединени щати

САЩ са пионери в прилагането на ИИ в логистичното образование. MIT, Stanford и Purdue University използват ИИ платформи за прогнозиране на вериги на доставки, анализ на данни и разработка на автономни логистични системи. [3] Американският модел се характеризира с проектно-ориентирано обучение и интеграция на реални данни от индустрията.

Таблица 1.

Държава	Ниво на интеграция на ИИ в инженерните програми	Основен фокус	Сътрудничество с индустрията
България	25–30%	Дигитализация, симулации	ограничено
Германия	75%	Индустриално обучение, лаборатории	Много високо
Япония	65%	Адаптивни системи и роботика	Средно високо
САЩ	85%	Анализ на данни, проектно обучение	Много високо

Теоретичен модел за интеграция на ИИ в обучението по инженерна логистика

Предлага се интеграционен модел AI-LogEdu, базиран на международните добри практики и изследванията на Vieriu et al. [2, 5, 10, 11]

Концепцията, че информацията, добавена към блокчейна, не може да бъде променяна. Поне не без промяна на всички по-късни блокове - което го прави неосъществимо без изчислителни ресурси извън осъществимостта без консенсус от мрежата. [15]

Компоненти на модела AI-LogEdu:

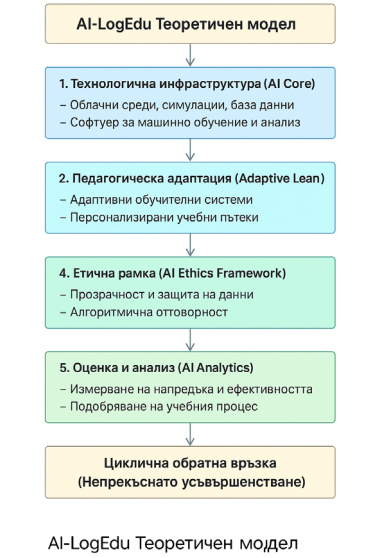
— Технологична инфраструктура (AI Core): Университетите трябва да изградят цифрови лаборатории, бази данни и облачни среди за обучение.

— Педагогическа адаптация (Adaptive Learning): Използване на интелигентни системи за персонализиране на съдържанието според напредъка на студента. [11]

— Индустриално партньорство (Industry Integration): Въвеждане на реални логистични казуси и проекти чрез сътрудничество с компании. [1]

— Етична рамка (AI Ethics Framework): Разработване на вътрешни политики за защита на данните и предотвратяване на алгоритмична пристрастност. [6]

— Оценка и анализ (AI Analytics): - Прилагане на аналитични инструменти за проследяване на ефективността на обучението и резултатите на студентите. [8]



Фиг 2. *Теоретичен модел AI-LogEdu за интеграция на ИИ в обучението по инженерна логистика*

Освен това, организациите, които интегрират принципите на човекоцентрирания дизайн, отчитат по-ниско текучество на персонала и по-висока удовлетвореност на служителите, което потвърждава пряката връзка между ергономичността и организационната устойчивост. [13]

Отвъд корпоративната среда, дигиталните технологии имат по-широки социални и икономически последици:

— Промени на пазара на труда и уменията: нарастващо търсене на дигитални компетенции.

— Неравенство между групите и регионите: дигиталното разделение може да задълбочи неравенствата.

— Въздействие върху публичния сектор и държавните услуги: дигитална администрация и електронно управление. [14]

Моделът предполага циклична взаимовръзка между технологиите, педагогическите практики и индустриалната реалност, като целта е непрекъснато усъвършенстване на обучението.

Сравнителният анализ показва, че България изостава от водещите държави по степен на интеграция на ИИ в инженерното образование. Основните бариери са ограничената инфраструктура, липсата на преподаватели с дигитална компетентност и недостигът на връзка с индустрията.

За разлика от това, германският и американският модел демонстрират, че сътрудничеството между университети и бизнес е ключът към успешната интеграция на ИИ. [3], [10] Моделът AI-LogEdu може да се използва като стратегическа рамка за адаптация към българските условия — чрез национални програми за обучение на преподаватели, стимулиране на научни центрове и внедряване на адаптивни платформи.

От дълги години инженерният опит е установил от практиката необходимостта да се има предвид правата и обратната взаимозависимост сред отделните периоди от време в процеса по създаване, производство и експлоатация на технически обект. [12]

Заключение

Интеграцията на изкуствения интелект в обучението по инженерна логистика е неотменима част от модерното висше образование. Международният опит показва, че успешното му прилагане изисква синергия между академичната наука, индустрията и технологиите. Българските университети имат потенциал да наваксат изоставането чрез модели като AI-LogEdu, които обединяват технологична, педагогическа и етична перспектива. Както посочват Davenport и Ronanki (2018), „организациите, които успяват да интегрират ИИ в своята култура, постигат устойчиво предимство“ — същото важи и за образованието.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Borsoša, P., & Koman, G. (2025). Overview of current research on artificial intelligence in logistics. LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics, 16(1). https://doi.org/10.2478/logi-2025-0002

[2] Bostrom, N. (2014). Superintelligence: Paths, dangers, strategies. Oxford University Press.

[3] Boute, R. N., & Udenio, M. (2021). AI in logistics and supply chain management. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.3862541

[4] Chen, W., et al. (2024). Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable development focus. Sustainability, 16(21), 9145. https://doi.org/10.3390/su16219145

[5] Davenport, T., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. Harvard Business Review, 96(1), 108–116.

[6] Glikson, E., & Woolley, A. W. (2020). Human trust in artificial intelligence: Review of empirical research. Academy of Management Annals, 14(2), 627–660. https://doi.org/10.5465/annals.2018.0057

[7] Hao, Y. (2025). Integrating AI in engineering education. University of Glasgow. https://eprints.gla.ac.uk/346783/

[8] OECD. (2023). AI and the future of skills: Implications for education and work. OECD Publishing.

[9] Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson Education.

[10] Schleiss, J., Johri, A., & Stober, S. (2024). Integrating AI education in disciplinary engineering fields: Towards a system and change perspective. arXiv preprint arXiv:2410.12795.

[11] Vieriu, A. M., et al. (2025). The impact of artificial intelligence on students' learning processes and academic performance. Education Sciences, 15(3), 343. https://doi.org/10.3390/educsci15030343

[12] Stoyanov Sv., Georgieva Zh., Yordanov N., За рационалните решения в контекста на интралогистиката, сборник научни трудове, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921

[13] Yankova-Yordanova Y., Doychinov Y., Vachinska-Aleksandrova S., Yordanov N., Research on the application of ergonomics in activities related to engineering logistics, Journal scientific and applied research, Vol. 28, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.77-90

[14] Yordanov N., Yankova-Yordanova Y., New digital technologies challenges and opportunities, Journal scientific and applied research, Vol. 29, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.98-106

[15] Йорданов Н., Блокчейн технология в управлението на веригата за доставки: Текущи приложения и бъдещи перспективи, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 11-21, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[16] Йорданов Н., Дигитални технологии в управлението на веригите за доставки, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 22-34, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[17] тоянов, Св., Георгиев Г., Йорданов Н., За управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия. – Сборник доклади от Научна конференция „Логистиката и обществените системи" (Велико Търново, 16 – 17 март 2023 година) – Том 3, Научно направление „Бизнес логистика", Велико Търново, 2023, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски", 139 – 144 (9 стр. БДС), ISSN 2738-8034.

LEAN ENGINEERING В ЕРАТА НА ИНДУСТРИЯ 4.0: ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА УСИЛВАНЕ НА НЕПРЕКЪСНАТОТО ПОДОБРЕНИЕ

Климент С. Николов

LEAN ENGINEERING IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0: DIGITAL TECHNOLOGIES TO ENHANCE CONTINUOUS IMPROVEMENT

Kliment S. Nikolov

ABSTRACT: *Lean engineering (лийн инженеринг) е инженерно-управленска парадигма, насочена към максимизиране на стойността за клиента чрез системно елиминиране на загубите (waste), стандартизиране и изграждане на устойчив цикъл на непрекъснато подобрение. През последното десетилетие дигиталните технологии (IoT, кибер-физични системи, изкуствен интелект, дигитални двойници, AR/VR, адитивно производство) променят начина, по който се измерват процесите, вземат се решения и се управляват потоци от стойност. Настоящата статия предлага синтезирана рамка за интеграция на Industry 4.0 в lean engineering, анализира механизми на синергия и рисковете от „автоматизиране на загубата“, и предлага измерим подход за оценка на ефекта чрез KPI и експериментални цикли. Изводът е, че най-висока стойност се получава, когато дигитализацията не заменя lean практиките, а ги усилва чрез по-добра видимост, по-къса обратна връзка и по-висока стабилност на процесите.*

KEYWORDS: *Lean engineering, Industry 4.0, IoT, Digital twin, Artificial intelligence, Value stream, KPI*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25KNX

Теоретична основа: Lean engineering и дигиталната трансформация

Lean engineering като системна инженерна дисциплина

Lean мисленето се дефинира като ориентация към стойността (value), идентифициране и оптимизация на потока (flow), „изтеглящо“ управление (pull) и стремеж към съвършенство чрез непрекъснато подобрение. В класическата литература lean се позиционира като управленски подход за „банишване“ на загубите и създаване на стойност в организацията чрез проектиране на процеси и поведенчески норми (стандартизирана работа, визуално управление, проблемно решаване). [8]

В контекста на интралогистичните системи рационалните инженерни решения, базирани на анализ на потоците и техническите ограничения, са

ключови за постигане на стабилен и ефективен lean дизайн, особено във вътрешнозаводската логистика [9].

В контекста на lean engineering, фокусът се измества от „инструменти“ към инженерен дизайн на системата: (1) как процесът се моделира, (2) как се измерва, (3) как се управлява вариацията, (4) как се затваря цикълът за учене (A3/PDCA). Емпирични изследвания показват, че практиките на lean работят като взаимосвързани „пакети“ (bundles) — JIT, TQM, TPM и HRM — и ефектът им върху резултатите е по-силен, когато се внедряват системно, а не фрагментарно. [7]

Новите дигитални технологии като катализатор (и риск) за lean

Industry 4.0 се свързва с интеграция на сензори, свързаност и изчисления по ръба (edge), което позволява реално-времеви данни за процеса, автоматизирано откриване на отклонения и симулации на „какво-ако“. В литературата се подчертава, че връзката между Industry 4.0 и lean е двупосочна: lean създава стабилни процеси, които са по-лесни за дигитализация, а дигиталните технологии повишават прозрачността и скоростта на обратната връзка, което усилва lean. [1]

Съвременните дигитални технологии създават както значителни възможности за подобряване на инженерните системи, така и нови предизвикателства, свързани с интеграцията, сигурността и управлението на данните в индустриална среда [11].

Същевременно съществува класическият риск: да се автоматизира загубата (например роботизирано преместване на излишни запаси). Затова инженерният принцип е: първо стабилизирай и опрости потока (lean), после дигитализирай и оптимизирай (Industry 4.0). Емпирични данни от европейски производители показват, че комбинацията от lean и Industry 4.0 е асоциирана с по-високи подобрения на оперативната ефективност, отколкото всяка от двете инициативи самостоятелно. [5]

Блокчейн технологията се утвърждава като инструмент за повишаване на прозрачността, проследимостта и доверието във веригите за доставки, като нейното приложение в логистиката има потенциал да подпомогне lean управлението на потоците [12].

Архитектура и механизми на интеграция: Lean инструменти, усилени чрез дигитални технологии

Концептуална рамка: от поток на стойност към „дигитален цикъл на учене“

Изследванията показват, че интегрирането на ергономични принципи в инженерната логистика подобрява не само условията на труд, но и стабилността и повторяемостта на логистичните процеси, което е в пълно съответствие с lean философията [10].

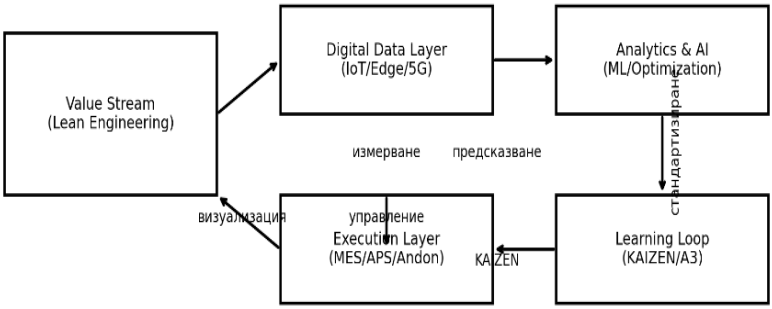
Фигура 1 представя синтезирана архитектура за lean engineering в дигитална среда: потокът на стойност се измерва чрез IoT/edge слой, данните се

трансформират в знания чрез аналитика и AI, а изпълнението се управлява през MES/APS/Andon и завършва с цикъл на учене (Kaizen/A3).

— Lean слой: VSM (value stream mapping), стандартизирана работа, pull/kanban, 5S, SMED, TPM.

— Дигитален слой: IoT сензори, event streaming, edge analytics, дигитални табла, дигитален канбан, дигитален двойник.

— Интелигентен слой: ML за предиктивна поддръжка/качество, оптимизационни алгоритми за планиране, откриване на аномалии.



Фиг. 1. *Рамка за стройна дигитална среда*

Подобна рамка е съвместима и със стандартизирани подходи за дигитални двойници в производството, където се дефинират принципи и архитектури за „наблюдаеми производствени елементи“ и синхронизация между физически и цифров свят. [3]

Анализът на дигиталните технологии в управлението на веригите за доставки показва, че тяхното целенасочено приложение подобрява координацията между участниците и подпомага вземането на инженерно обосновани решения [13].

Дигитализацията на транспортната дейност в индустриалните предприятия допринася за по-добро планиране, контрол и оптимизация на транспортните процеси, което е ключов фактор за ефективността на инженерната логистика [14].

Карта „загуби → технологии“ (табличен синтез)

Таблица 1 свързва класически категории загуби с подходящи дигитални технологии и очакван механизъм на ефект. Таблицата е практически инструмент за избор на технологии според проблема, а не според модата.

Този тип „сдвояване“ е в съзвучие с изследователските направления, които картографират взаимните усилвания между Industry 4.0 технологии и lean практики. [1]

Таблица 1. *Съпоставяне на загуби (waste) с дигитални технологии и lean механизми*

Загуба (waste)	Lean механизъм	Подходящи дигитални технологии	Какво се „усилва“
Изчакване	Балансиране, pull, SMED	IoT мониторинг, event logs, AI за тесни места	По-бързо откриване на блокажи
Свръхпроизводство	Heijunka, Kanban	Дигитален канбан, интегрирано планиране (APS)	По-точно изтегляне по потребление
Запаси	Pull, супермаркети	RFID/RTLS, IoT, аналитика	Реално време за WIP/инвентар
Дефекти	Jidoka, Poka-Yoke, TQM	Компютърно зрение, ML за качество	Ранно откриване, по-малко „скрити фабрики“
Транспорт/движение	5S, клетъчен layout	RTLS, симулации/дигитален двойник	Оптимизация на маршрут и разположение
Свръхобработка	Стандартизиране	Process mining, RPA (админ)	Премахване на ненужни стъпки
Нереализиран потенциал	Kaizen, A3	Knowledge bases, AR инструкции, колаб. платформи	По-бързо обучение и споделяне

Дигитален канбан, IoT и „реално време“: от визуално към предиктивно управление

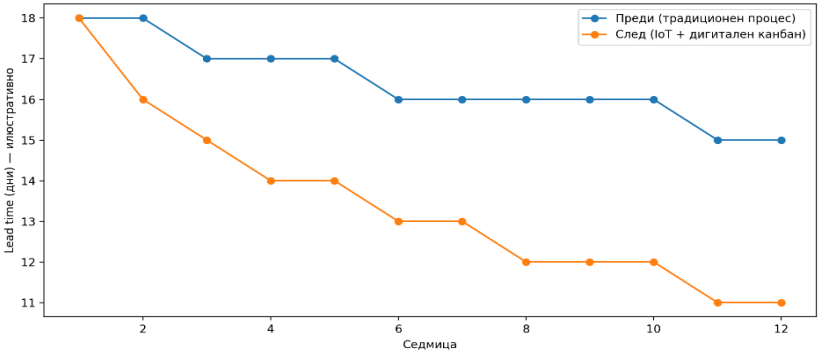
Класическият kanban прави потока видим чрез физически сигнал. Дигиталният канбан добавя: (1) телеметрия за текущ WIP, (2) автоматично „пускане“ при достигане на прагове, (3) проследимост на причините за отклонения. В литературата се отчита, че комбинираната употреба на lean и Industry 4.0 е свързана с по-добра оперативна производителност, което може да се обясни именно чрез съкращаване на обратната връзка и по-точно управление на потока. [6]

Фигура 2 показва как lead time може да се стабилизира и намали при въвеждане на IoT измерване и дигитален kanban (данните са демонстрационни, не от конкретно предприятие).

Дигитални двойници и lean engineering: симулация на подобрения без „спиране на линията“

Дигиталният двойник позволява да се тества промяна (например нов маршрут, нова настройка, нова логика на буфери) чрез симулация/виртуално изпълнение преди физическа намеса. ISO 23247-1/2 формулира рамка и архитектура за дигитални двойници в производството, което улеснява интероперативност и мащабируемост. [4]

В lean контекст ключовото е дигиталният двойник да бъде свързан с VSM и KPI: ако двойникът оптимизира локално (например максимизира натоварването на машина), но увеличава WIP и lead time, той противоречи на lean. Затова целевата функция следва да включва системни показатели (lead time, OTD, first-pass yield, WIP), а не само OEE или utilization.



Фиг. 2. *Тенденции halead time преди/след дигитализация на потока*

Изкуствен интелект и аналитика: от „реакция“ към „превенция“

AI/ML допринася в три основни направления:

1. Предиктивна поддръжка (TPM 2.0): прогнозиране на откази и планиране на намеси в прозорци с минимален ефект върху потока.
2. Качество: компютърно зрение за откриване на дефекти и root-cause връзки.
3. Планиране и логистика: оптимизация на графици при ограничени ресурси.

Систематични обзори по Lean 4.0 подчертават, че стойността идва най-вече от „затваряне на цикъла“: данни → анализ → действие → стандартизиране → нова база за подобрение. [2]

Фигура 3 е илюстративна диаграма за типични посоки на ефект върху lean KPI (демонстрационни стойности), с цел да визуализира сравнението между технологии като IoT мониторинг, дигитален канбан и дигитален двойник.

Измерване на ефекта, рискове и пътна карта за внедряване

Метрики и експериментален дизайн (PDCA като „инженерен протокол“)

За да е научно валидно измерването на ефекта от дигитализацията в lean среда, се препоръчва:

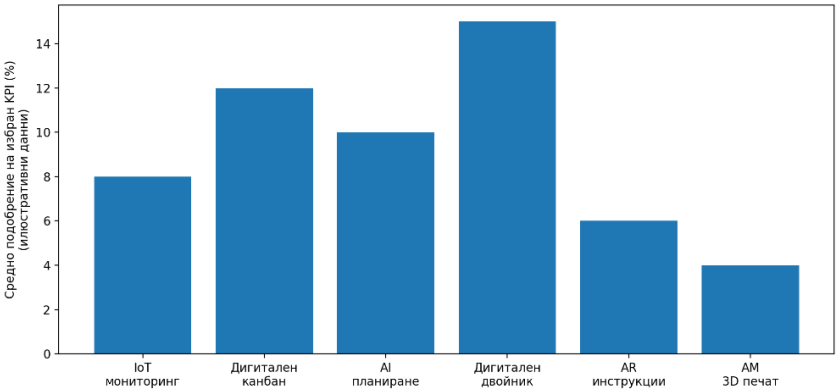
— Базова линия (baseline): минимум 4–8 седмици стабилни измервания.

— Семейства KPI:
  - Поток: lead time, WIP, throughput, OTD.
  - Качество: FPY, scrap/rework, DPMO.
  - Стабилност: downtime, MTBF/MTTR (TPM).
  - Хора и знания: време за обучение, спазване на стандарт, предложения/служител.

— A/B или stepped-wedge подход: внедряване по линии/клетки поетапно, за да се сравняват подобни условия.

— Причинност: комбиниране на количествени данни с A3 (качествен анализ на причините).

Това е в съзвучие с разбирането, че lean практиките са системни „пакети“ и ефектът им е контекстно зависим — следователно дизайнът на измерването трябва да отчита контекст (продуктова сложност, смени, микс). [7]



Фиг. 3. *Ефект на дигитални технологии върху lean KPI*

Типични капани (и как lean engineering ги адресира)

Капан 1: Локална оптимизация. Оптимизира се OEE на машина, но се увеличават партиди и WIP. Решение: KPI йерархия — приоритет на потока (lead time, OTD) над локални ефективности.

Капан 2: Данни без решение.

Сензори навсякъде, но липсва стандарт за реакция.

Решение: „andon логика“ + стандартизирана работа за отклонения.

Капан 3: Технология преди стабилизация. Дигитален двойник върху хаотичен процес.

Решение: първо 5S/стандарт/SMED/TPM, после дигитализация.

Капан 4: Слаба киберсигурност и управление на данни. Усилената свързаност увеличава риска.

Решение: управление на достъпа, сегментация, качество на данните (data governance).

Пътна карта: Lean-first, Digital-enabled

Предложена последователност:

1. Диагностика на потока: VSM + избор на 1–2 критични потока.
2. Стабилизация: стандартизирана работа, 5S, визуално управление, TPM „основи“.
3. Инструментална дигитализация: IoT за тесни места, дигитален kanban, базови табла.
4. Интелигентно управление: ML за поддръжка/качество, оптимизация на планове.
5. Дигитален двойник за Kaizen: симулации на подобрения и стандартизиране на най-добрите практики според рамки/архитектури (напр. ISO 23247). [3]

Емпирични изследвания върху европейски производители подкрепят тезата, че „съвместното“ внедряване (lean + I4.0) е свързано с по-добри резултати от изолирани инициативи. [6]

Заключение

Lean engineering остава фундаментално инженерно мислене за поток, стабилност и учене, но новите дигитални технологии разширяват неговия инструментариум: правят процесите „наблюдаеми“, скъсяват обратната връзка и позволяват симулации и предикции. Литературата показва, че синергията между lean и Industry 4.0 е реална, но условна: стойността е най-висока, когато дигитализацията е насочена към конкретни загуби, и когато се управлява като PDCA/A3 програма със ясни KPI, а не като ИТ проект. В този смисъл lean engineering в дигиталната ера може да се разглежда като „Lean 4.0“: не нова философия, а усилване на съществуващата чрез данни, аналитика и стандартизирани архитектури.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. “The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda.” International Journal of Production Research, 2018.

[2] Gil-Vilda, F., et al. “From Lean Production to Lean 4.0: A Systematic Literature Review.” Applied Sciences, 2021.

[3] ISO. ISO 23247-1:2021 Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. 2021.

[4] ISO. ISO 23247-2:2021 Digital twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture. 2021.

[5] Liker, J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill, 2004.

[6] Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., & Portioli-Staudacher, A. “Industry 4.0 and Lean Production: an empirical study.” IFAC-PapersOnLine, 2019 (проучване със 108 европейски производители).

[7] Shah, R., & Ward, P. T. “Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance.” Journal of Operations Management, 21, 129–149, 2003. https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0

[8] Womack, J. P., & Jones, D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Productivity Press, 1996.

[9] Stoyanov Sv., Georgieva Zh., Yordanov N., За рационалните решения в контекста на интралогистиката, сборник научни трудове, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921

[10] Yankova-Yordanova Y., Doychinov Y., Vachinska-Aleksandrova S., Yordanov N., Research on the application of ergonomics in activities related to engineering logistics, Journal scientific and applied research, Vol. 28, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.77-90

[11] Yordanov N., Yankova-Yordanova Y., New digital technologies challenges and opportunities, Journal scientific and applied research, Vol. 29, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.98-106

[12] Йорданов Н., Блокчейн технология в управлението на веригата за доставки: Текущи приложения и бъдещи перспективи, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 11-21, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[13] Йорданов Н., Дигитални технологии в управлението на веригите за доставки, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 22-34, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[14] Стоянов, Св., Георгиев Г., Йорданов Н., За управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия. – Сборник доклади от Научна конференция „Логистиката и обществените системи” (Велико Търново, 16 – 17 март 2023 година) – Том 3, Научно направление „Бизнес логистика”, Велико Търново, 2023, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 139 – 144 (9 стр. БДС), ISSN 2738-8034.

ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА И ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ: МОДЕЛИ И ПРИЛОЖЕНИЯ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНИ ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ

Климент С. Николов

ENGINEERING LOGISTICS AND DIGITAL TECHNOLOGIES: MODELS AND APPLICATIONS FOR INTELLIGENT LOGISTICS SYSTEMS

Kliment S. Nikolov

ABSTRACT: *The rapid development of digital technologies is fundamentally transforming modern logistics systems. This article examines the role of engineering logistics in the integration of digital technologies such as automation, data analytics, blockchain, and intelligent transport systems. Engineering models and methods are analyzed to demonstrate how digitalization improves efficiency, transparency, and decision-making in logistics systems. The study highlights the importance of a systems engineering approach for designing and managing intelligent logistics systems in industrial environments.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, Digital technologies, Intralogistics, Automation, Optimization*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25KNY

1. Теоретични основи на инженерната логистика и дигитализацията

1.1. Същност на инженерната логистика

Инженерната логистика разглежда логистичните процеси като технически системи, които подлежат на анализ, моделиране и оптимизация. За разлика от управленския подход, инженерната логистика поставя акцент върху материалните, информационните и енергийните потоци, както и върху техническите средства, чрез които тези потоци се реализират.

В контекста на интралогистиката инженерната логистика има за цел оптимизиране на вътрешнозаводските процеси чрез рационални решения, свързани с разположение на оборудването, избор на транспортни средства и автоматизация на операциите. Анализът на рационалните решения в интралогистичните системи показва, че инженерният подход води до по-добро използване на ресурсите и по-висока оперативна ефективност [1].

1.2. Дигиталната трансформация на логистичните системи

Дигиталната трансформация е ключов фактор за развитието на съвременните логистични системи. Въвеждането на цифрови технологии

позволява автоматизирано събиране и обработка на данни, както и интеграция между различните логистични функции.

Съвременните изследвания показват, че дигиталните технологии не само повишават ефективността на логистичните процеси, но и създават нови възможности за анализ и оптимизация на системите в реално време. Предизвикателствата и възможностите, свързани с внедряването на нови дигитални технологии, са разгледани в контекста на инженерната логистика и изискват системен и интердисциплинарен подход [2].

1.3. Инженерна логистика като основа за интелигентни системи

Интелигентните логистични системи се базират на интеграция между физическите процеси и цифровите платформи. Инженерната логистика осигурява рамката за проектиране на тези системи чрез комбиниране на технически средства, алгоритми и управленски механизми. Общият модел на инженерната логистика в условията на дигитализация е представен на Фигура 1.



Фиг. 1. *Концептуален модел на инженерна логистика в условията на дигитализация*

2. Дигитални технологии в инженерната логистика

2.1. Автоматизация и интралогистика

Автоматизацията е един от основните инструменти за подобряване на интралогистичните процеси. Чрез използване на автоматизирани складови системи, конвейери и автономни транспортни средства се постига значително намаляване на времето за обработка и преместване на материалите.

Изследванията в областта на интралогистиката показват, че рационалният избор на автоматизирани решения води до повишаване на производителността и намаляване на човешките грешки. Инженерният анализ на интралогистичните процеси подпомага вземането на решения за внедряване на подходящи технологии [1].

2.2. Ергономия и човешки фактор в дигиталната логистика

Въпреки високото ниво на автоматизация, човешкият фактор остава съществен елемент на логистичните системи. Инженерната логистика интегрира принципите на ергономията с цел подобряване на условията на труд и безопасността на персонала.

Изследванията върху приложението на ергономията в дейности, свързани с инженерната логистика, показват, че оптимизацията на работните места и взаимодействието човек–машина водят до по-висока ефективност и намаляване на риска от трудови злополуки [3].

2.3. Дигитални платформи и управление на веригите за доставки

Дигиталните платформи играят ключова роля в управлението на веригите за доставки чрез осигуряване на прозрачност и координация между участниците. Чрез използване на информационни системи се постига по-добро планиране и контрол на логистичните процеси.

Общата структура на дигиталните потоци и използваните технологии в инженерната логистика е представена на Фигура 2.



Фиг. 2. *Дигитални потоци и технологии в инженерната логистика*

Анализът на дигиталните технологии в управлението на веригите за доставки показва, че те допринасят за по-бърза реакция на пазарните промени и повишаване на устойчивостта на системите [4].

2.4. Блокчейн технологии в инженерната логистика

Блокчейн технологията намира все по-широко приложение в логистиката, особено в областта на проследимостта и сигурността на данните. Чрез децентрализирани регистри се осигурява надеждна информация за движението на материалите и транзакциите във веригата за доставки.

Изследванията върху текущите приложения и бъдещите перспективи на блокчейн в управлението на веригата за доставки показват, че технологията има потенциал да подобри прозрачността и доверието между участниците в логистичните системи [5].

3. Приложение и анализ на дигиталната инженерна логистика

3.1. Инженерни модели за анализ и оптимизация

Инженерните модели са основен инструмент за анализ и оптимизация на дигитализираните логистични системи. Чрез използване на математически и симулационни модели може да се оцени ефектът от внедряването на дигитални технологии върху ефективността и разходите.

Системният подход позволява интеграция на различни дигитални решения в единна логистична система и подпомага вземането на обосновани инженерни решения.

3.2. Дигитализация на транспортната дейност

Транспортната дейност е ключов компонент на логистичните системи и е обект на значителна дигитализация. Използването на интелигентни транспортни системи, GPS проследяване и анализ на данни води до оптимизация на маршрутите и намаляване на разходите.

Изследванията върху управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия показват, че дигиталните решения допринасят за по-добър контрол и ефективност на транспортните процеси [6].

3.3. Значение за инженерното проектиране и управление

Интеграцията на дигиталните технологии в инженерната логистика изисква нов подход към проектирането и управлението на логистичните системи. Инженерният анализ позволява оценка на алтернативни решения и избор на оптимални конфигурации. По този начин инженерната логистика се утвърждава като основа за развитието на интелигентни и устойчиви логистични системи.

Процесът на анализ, моделиране и оптимизация на дигиталните логистични решения е представен на Фигура 3.

Заключение

Дигиталните технологии оказват съществено влияние върху развитието на инженерната логистика и създават предпоставки за изграждане на интелигентни логистични системи. Настоящата статия показва, че интеграцията на

автоматизация, дигитални платформи и съвременни инженерни модели води до повишаване на ефективността и прозрачността на логистичните процеси.

Резултатите от анализа потвърждават, че инженерният подход към дигитализацията позволява по-добро използване на ресурсите и подобряване на управленските решения. В дългосрочен план дигиталната инженерна логистика се утвърждава като ключов фактор за конкурентоспособността на индустриалните предприятия.



Фиг. 3. *Инженерен модел за анализ и оптимазция в дигиталната логистика*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Stoyanov Sv., Georgieva Zh., Yordanov N., За рационалните решения в контекста на интралогистиката, сборник научни трудове, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921

[2] Yordanov N., Yankova-Yordanova Y., New digital technologies challenges and opportunities, Journal scientific and applied research, Vol. 29, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.98-106

[3] Yankova-Yordanova Y., Doychinov Y., Vachinska-Aleksandrova S., Yordanov N., Research on the application of ergonomics in activities related to engineering logistics, Journal scientific and applied research, Vol. 28, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.77-90

[4] Йорданов Н., Дигитални технологии в управлението на веригите за доставки, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 22-34, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[5] Йорданов Н., Блокчейн технология в управлението на веригата за доставки: Текущи приложения и бъдещи перспективи, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 11-21, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[6] Стоянов, Св., Георгиев Г., Йорданов Н., За управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия. – Сборник доклади от Научна конференция „Логистиката и обществените системи” (Велико Търново, 16 – 17 март 2023 година) – Том 3, Научно направление „Бизнес логистика”, Велико Търново, 2023, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 139 – 144 (9 стр. БДС), ISSN 2738-8034.

ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА И ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ: МОДЕЛИ, ДАННИ И ИНТЕГРАЦИОННИ ПОДХОДИ

Климент С. Николов

ENGINEERING LOGISTICS AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN MANUFACTURING SYSTEMS: MODELS, DATA AND INTEGRATION APPROACHES

Kliment S. Nikolov

ABSTRACT: *The integration of digital technologies within manufacturing logistics is reshaping material and information flows, enabling real-time decision-making, transparency, and higher operational stability. This article examines engineering logistics models and digital enablers (IoT, analytics, process mining, digital twins, blockchain and platforms) in the context of production systems. A systems view is proposed, linking intralogistics, transport management and supply chain coordination with data-driven optimization and human-centered design. The paper outlines a practical integration framework, key performance indicators and implementation risks, with emphasis on interoperability and measurable effects.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, Manufacturing systems, Digital technologies, Intralogistics, Digital twin, Process mining, Blockchain*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25KNZ

Увод

Индустрия 4.0 и свързаните с нея дигитални технологии променят начина, по който се проектират и управляват производствените системи. Инженерната логистика — като дисциплина, която третира логистичните процеси като технически системи за анализ и оптимизация — се превръща в естествен „интегратор“ между физически потоци (материали, транспорт, складове) и цифрови потоци (данни, събития, модели). В този контекст дигиталната трансформация в логистиката не е само внедряване на софтуер, а архитектурна промяна, която изисква системно инженерно мислене, измерими показатели и контрол на рисковете.

Съвременната литература показва, че дигиталната трансформация оказва значимо влияние върху логистичната и SCM ефективност, като интеграцията на веригата играе медиаторна роля за постигане на резултати. Също така се наблюдава разширяване на приложението на процесно-ориентирани методи (напр. process mining) за анализ и подобрение на логистични процеси в производствени организации. [2]

Целта на статията е да предложи инженерно-логистична рамка за интеграция на ключови дигитални технологии в производствени системи, включително интралогистика, транспорт и вътрешна дистрибуция, платформи и екосистеми по веригата за доставки, като се отчита и човешкият фактор.

1. Теоретични основи: инженерна логистика, производство и дигитализация

1.1. Инженерна логистика като системна дисциплина в производството

Инженерна логистика разглежда логистичните процеси в производствена среда като взаимосвързана система от материални, информационни и енергийни потоци, подлежащи на моделиране, анализ и оптимизация. Вътрешнозаводската логистика (интралогистика) е критична, защото свързва технологичните операции със складовите и транспортните звена и определя реалната пропускателна способност на потока.

В контекста на интралогистиката рационалните технически решения не се изчерпват с избор на техника, а включват проектиране на взаимовръзките между участниците и процесите в създаването и произвеждането на изделията — т.е. инженерна рационалност на системно ниво. [5]

1.2. „Дигитална логистика“: от данни към управляемост

Дигиталните технологии обхващат широк спектър домейни — IoT, облачни услуги, Big Data/аналитика, AI/ML, блокчейн и дигитални двойници — които създават „цифров екосистемен ландшафт“ и позволяват скалируеми, мрежови и данни-ориентирани модели.

Критичното предизвикателство е, че технологиите сами по себе си не гарантират резултат: необходима е интеграция със стратегия, процеси и хора, както и ясни метрики и рамки за измерване на трансформацията. [7]

1.3. Производствени системи като кибер-физически потоци

Производствените системи могат да се разглеждат като кибер-физически потоци: материалният поток се „оглежда“ в информационен поток (събития, идентификатори, параметри, KPI). Именно тук инженерната логистика има ключова роля: да определи структурата на потоците и да зададе ограниченията и целевите функции за оптимизация.

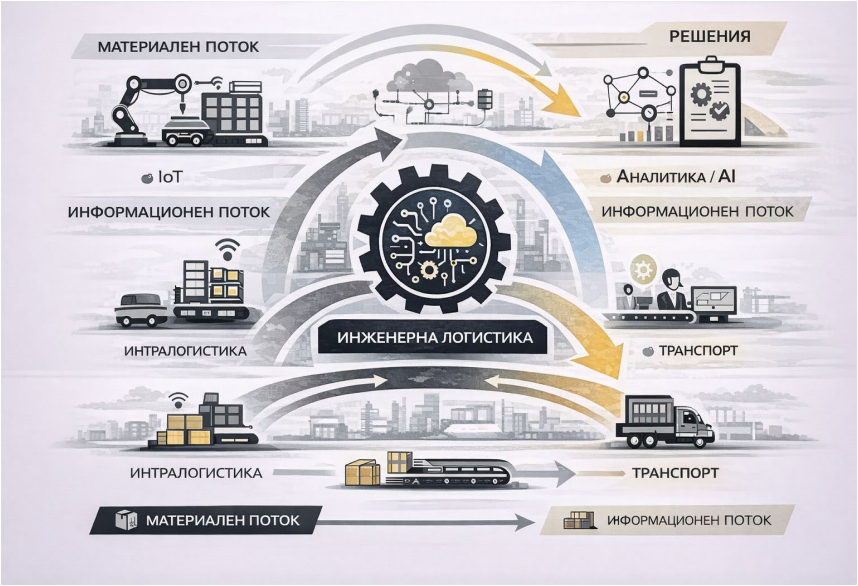
2. Дигитални технологии в инженерната логистика: инструменти и инженерни ефекти

2.1. IoT, идентификация и проследимост в интралогистиката

IoT, RFID/RTLS и сензорни мрежи осигуряват наблюдение в реално време на WIP, местоположение, статуса на оборудването и качествени параметри. Така се намалява латентността на информацията и се подобрява управляемостта на потока, което е особено важно при смесени линии, многоартикулност и променливо търсене.

В рамките на дигитализацията на веригата за доставки се формират непрекъснати информационни потоци в цифров вид, които ускоряват операциите

и повишават точността, като създават основа за автоматизация на взаимодействията и процесите. [9]



Фиг. 1. *Концептуален модел: производство – инженерна логистика – дигитални технологии (показва материален поток + информационен поток + слоеве технологии: IoT → платформа → аналитика/AI → решения)*

2.2. Аналитика, AI и предиктивни модели за логистични решения

След като данните са налични, следваща стъпка е аналитиката: откриване на тесни места, прогнозиране на натоварване, оптимизация на буфери и графици. Изследванията върху процесното извличане на знания от логистични събития (process mining) показват, че методите се използват за анализ на реални логистични процеси в производствени организации и подпомагат идентификацията на отклонения, цикличности и причини за забавяния.

2.3. Дигитални двойници: симулация и инженерна валидация „преди промяната“

Дигиталният двойник (Digital Twin) позволява да се тества промяна (напр. нов маршрут, нова логика на буфери, ново разположение) чрез виртуално изпълнение и симулация преди физическа намеса. Прегледни изследвания показват ролята на дигиталния двойник като виртуално представяне на процеси/системи в реално време и приложимостта му в индустрия 4.0, включително логистични движения и фабрични операции. От инженерна гледна точка „стойността“ идва от системна целева функция: ако локална оптимизация увеличава WIP и lead time, тя е контрапродуктивна спрямо целите на потока. [3]

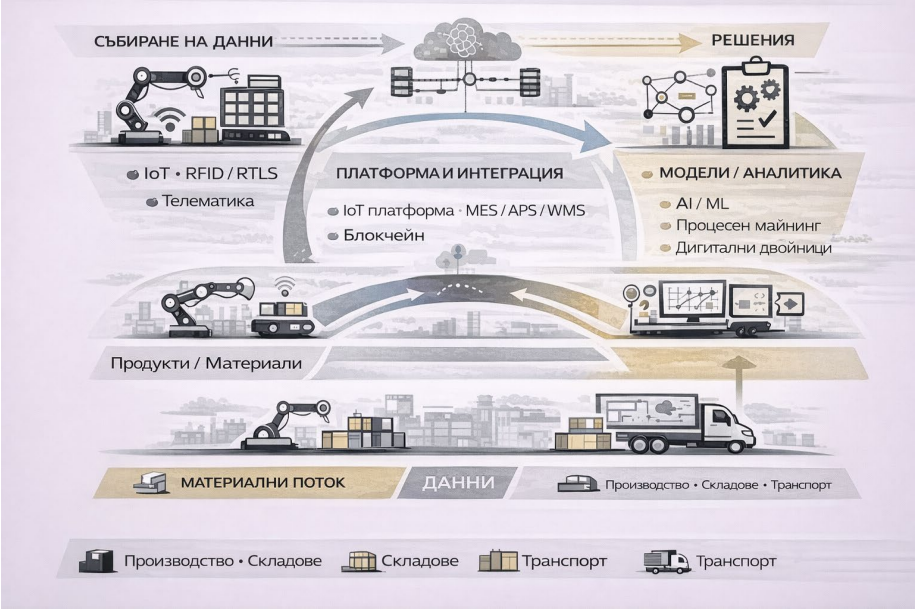
2.4. Платформи и цифрови екосистеми по веригата за доставки

Дигиталните технологии трансформират веригите за доставки в екосистеми, координирани от платформи, които натрупват и обработват данни за взаимодействията на хора, процеси и устройства. [9] Това води до по-гъвкава координация, надхвърляща границите между предприятията и поддържа концепцията за „разширена фирма“ и динамична верига на доставки.

2.5. Блокчейн и доверие: проследимост, неизменност и ограничения

Блокчейн технологията дава механизъм за споделено доверие чрез децентрализация, неизменност и проследимост на транзакциите, което я прави приложима за ключови проблеми във веригите за доставки (асиметрия на информацията, фалшификации, трудно доказуем произход). Едновременно с това съществуват технически ограничения — мащабируемост и ресурсна тежест при голям обем транзакции — които могат да се превърнат в „тясно място“ при широкомащабни логистични приложения. [8]

Систематични обзорни публикации подчертават разнообразието на обхвата на traceability и необходимостта от рамки за дефиниране на целите на проследимостта спрямо контекста. [1]



Фиг. 2. *Дигитални потоци и технологии в инженерната логистика (производствен контекст) (слоеве: събиране на данни → платформа/интеграция → модели/аналитика → решения; връзка с производство/склад/транспорт)*

2.6. Ергономия, човек–система и устойчивост на операциите

При дигитализацията човешкият фактор остава критичен: оператори, техници, диспечери и инженери взаимодействат с интерфейси, системи за планиране и автоматизирани средства. Интегрирането на ергономични принципи в инженерната логистика (вкл. при проектиране, експлоатация и оценка) подпомага безопасността, намалява умората и грешките и повишава повторяемостта на процесите. Това е особено релевантно при внедряване на цифрови инструменти като виртуална симулация и дигитални двойници за оценка на работни места и потоци. [6]

3. Приложен модел за внедряване в производство: KPI, архитектура и рискове

3.1. Инженерна рамка за интеграция

Предлага се 4-слойна инженерна рамка:

1. Физически слой (операции): производство, склад, вътрешен транспорт, външен транспорт.
2. Слой данни (наблюдение): IoT/идентификация/събитийни логове, SCADA/MES/WMS/TMS.
3. Моделен слой (анализ): симулация, оптимизационни модели, process mining, предиктивни модели.
4. Слой решения (управление): оперативно планиране, управление на изключения, сигнализация, автоматизирани правила, Kaizen цикли.

Критично е дефинирането на „едно цифрово пространство“ за участниците, което намалява несъвместимостта на информационни системи и прекъснатия обмен на данни. [9]

3.2. KPI за дигитална инженерна логистика в производство

За да се оцени ефектът, е необходим набор от KPI, които „хващат“ както потока, така и стабилността:

Таблица 1. *Примерни KPI за дигитална инженерна логистика в производство*

Група	Показател	Описание
Поток	Lead time (LT)	време от заявка до доставка/операция
Поток	WIP	незавършено производство/междинни запаси
Обслужване	OTD/OTIF	доставка навреме / пълна
Ефективност	Логистични разходи	% от себестойност/оборот
Стабилност	Variability (σLT)	вариация на LT
Качество	First-pass yield	без повторна обработка
Доверие	Traceability coverage	% проследими партиди/компоненти

Външни емпирични изследвания показват, че дигиталната трансформация има измерим ефект върху резултатите на веригата, като интеграцията е ключов механизъм за „пренасяне“ на ефекта към performance. [4]

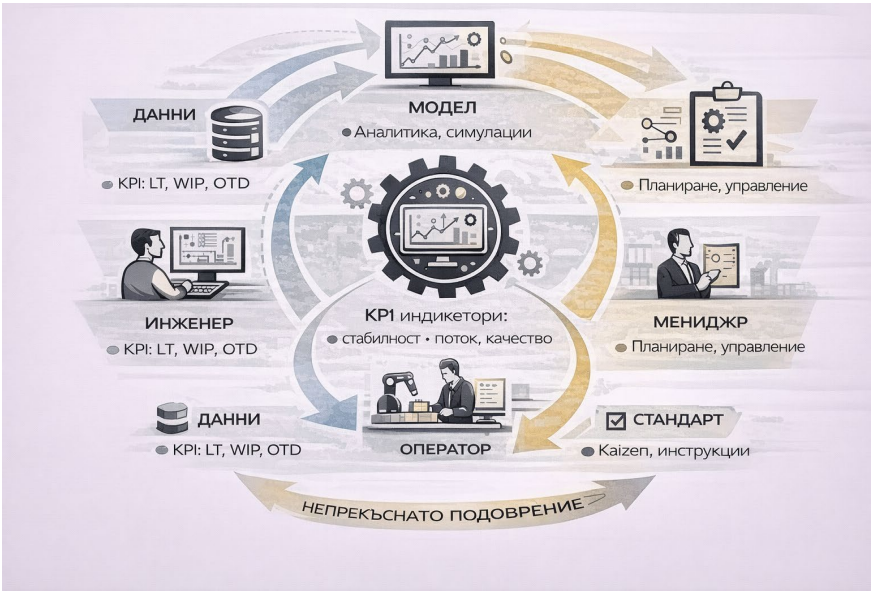
3.3. Транспорт и вътрешна дистрибуция: дигитализация на критична подсистема

В производствени предприятия транспортната дейност често е „скрит разход“ и източник на вариации (закъснения, празни курсове, невидими буфери). Дигитализацията чрез TMS, телематика, GPS, динамично планиране и мониторинг в реално време позволява по-добро планиране и контрол. [10]

3.4. Практическа пътна карта за внедряване (6 стъпки)

1. Картографиране на потока (VSM + дигитална карта на данните).
2. Избор на „точки за измерване“ (събития и идентификатори).
3. Интеграция на системи (минимален общ модел на данните).
4. Пилот (1 линия/1 складова зона) + базови KPI.
5. Моделиране и оптимизация (симулация/PM/аналитика).
6. Скалиране и стандартизиране (инструкции, обучение, киберсигурност).

Изследванията върху новите дигитални технологии акцентират, че успехът изисква синергия между технологии, стратегия, процеси и хора, както и развитие на дигитални умения и управление на рисковете (етика, сигурност, неравенства). [7]



Фиг. 3. *Инженерен цикъл за управление: данни → модел → решение → стандарт (непрекъснато подобрение) (затворен цикъл + KPI + роли: инженер/оператор/мениджър)*

3.5. Рискове и ограничения

— Интероперативност: „острови“ от данни → липса на край-до-край видимост.
— Качество на данните: грешни идентификатори → грешни решения.
— Киберсигурност: увеличената свързаност увеличава атакуемостта.
— Технологични ограничения: блокчейн — мащабируемост и разходи. [8]
— Човешки фактор: когнитивно натоварване от интерфейси; нужда от ергономичен дизайн. [6]

Заключение

Инженерната логистика предоставя системна рамка за внедряване на дигитални технологии в производствени системи, така че цифровизацията да води до измерими подобрения, а не до „пласт софтуер“ върху несъвършен процес. В статията бе показано, че ефективната дигитална трансформация изисква едновременно управление на материалните потоци, данните и човешкия фактор: IoT и идентификацията осигуряват наблюдение; аналитиката, process mining и дигиталните двойници превръщат данните в модели; платформите и екосистемите разширяват координацията по веригата; блокчейн добавя доверие и проследимост при определени условия и ограничения.

Практическата стойност на подхода е в измеримостта чрез KPI, в инженерната валидация чрез моделиране и в устойчивостта чрез човеко-центриран дизайн. Така дигиталните технологии могат да станат реален ускорител на производствената логистика — чрез по-нисък lead time, по-малко WIP, по-висока надеждност и по-добра прозрачност в решенията.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ahmed, W.A.H. et al. (2023). Blockchain-enabled supply chain traceability – How wide? International Journal of Production Economics, 263.

[2] Alnahas, J. (2023). Application of Process Mining in Logistic Processes of Manufacturing Organizations: A Systematic Review. Sustainability, 15(15), 11783.

[3] Javaid, M. et al. (2023). Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review. Journal of Industrial Information Integration.

[4] Jing, H. et al. (2024). Digital Transformation, Supply Chain Integration and Performance. SAGE Open.

[5] Stoyanov Sv., Georgieva Zh., Yordanov N., За рационалните решения в контекста на интралогистиката, сборник научни трудове, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921

[6] Yankova-Yordanova Y., Doychinov Y., Vachinska-Aleksandrova S., Yordanov N., Research on the application of ergonomics in activities related to engineering logistics, Journal scientific and applied research, Vol. 28, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.77-90

[7] Yordanov N., Yankova-Yordanova Y., New digital technologies challenges and opportunities, Journal scientific and applied research, Vol. 29, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.98-106

[8] Йорданов Н., Блокчейн технология в управлението на веригата за доставки: Текущи приложения и бъдещи перспективи, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 11-21, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[9] Йорданов Н., Дигитални технологии в управлението на веригите за доставки, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 22-34, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[10] Стоянов, Св., Георгиев Г., Йорданов Н., За управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия. – Сборник доклади от Научна конференция „Логистиката и обществените системи” (Велико Търново, 16 – 17 март 2023 година) – Том 3, Научно направление „Бизнес логистика”, Велико Търново, 2023, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 139 – 144 (9 стр. БДС), ISSN 2738-8034.

ИНЖЕНЕРЕН ПОДХОД ЗА ИНТЕГРИРАНЕ НА ESG ПРИНЦИПИТЕ В ЛОГИСТИЧНИТЕ СИСТЕМИ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Йорданка И. Янкова-Йорданова

ENGINEERING APPROACH FOR INTEGRATING ESG PRINCIPLES INTO LOGISTICS SYSTEMS OF MANUFACTURING ENTERPRISES

Yordanka I. Yankova-Yordanova

ABSTRACT: *The increasing importance of Environmental, Social, and Governance (ESG) criteria has a significant impact on the design and operation of modern manufacturing logistics systems. This article examines an engineering approach for integrating ESG principles into logistics systems, focusing on environmental performance, social responsibility, and governance efficiency. Engineering logistics models, performance indicators, and optimization methods are analyzed to demonstrate how ESG requirements can be embedded into logistics decision-making. The results show that a systematic engineering approach supports sustainable development, regulatory compliance, and long-term competitiveness of manufacturing enterprises.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, ESG, Sustainability, Logistics systems, Optimization*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25YYQ

1. Теоретични основи на ESG и инженерната логистика

1.1. Същност и развитие на ESG концепцията

През последното десетилетие концепцията ESG (Environmental, Social, Governance) се утвърди като водеща рамка за оценка на устойчивостта и отговорността на организациите. Първоначално използвана основно във финансовия сектор, днес ESG намира широко приложение и в индустриалните и производствените системи. Екологичните (Environmental), социалните (Social) и управленските (Governance) критерии все по-често се разглеждат като взаимосвързани елементи, които оказват пряко влияние върху ефективността и конкурентоспособността на предприятията.

От инженерна гледна точка ESG не представлява абстрактна концепция, а набор от измерими изисквания, които могат да бъдат интегрирани в проектирането и управлението на технически и логистични системи [1].

1.2. Роля на логистиката в ESG рамката

Логистиката заема централно място в ESG рамката, тъй като обхваща значителна част от материалните, информационните и енергийните потоци в производствените предприятия. Екологичният аспект включва емисии, енергийна

ефективност и управление на отпадъците; социалният – безопасност на труда, условия на работа и взаимодействие с доставчици; управленският – прозрачност, контрол и вземане на решения.

От дълги години инженерният опит е установил от практиката необходимостта да се има предвид правата и обратната взаимозависимост сред отделните периоди от време в процеса по създаване, производство и експлоатация на технически обект. [8]

Инженерната логистика предоставя методологична основа за количествено описание и оптимизация на тези аспекти чрез използване на модели, показатели и симулационни инструменти [2].

1.3. ESG като инженерно предизвикателство

Интегрирането на ESG принципите изисква промяна в традиционния подход към логистичното проектиране. Вместо оптимизация единствено по икономически критерии, инженерните решения трябва да отчитат множество цели, включително екологични и социални показатели. Общата концепция за интегриране на ESG принципите в инженерната логистика е представена на Фигура 1.



Фиг. 1. *Концепция за интегриране на ESG принципите в инженерната логистика*

2. Инженерни модели и методи за ESG интеграция в логистиката

2.1. Екологични (Environmental) модели в логистичните системи

Екологичният компонент на ESG е свързан основно с намаляване на негативното въздействие върху околната среда. В логистичните системи това включва оптимизация на транспортните маршрути, управление на енергийното потребление и минимизиране на отпадъците.

Инженерните модели позволяват количествена оценка на екологичните показатели, като емисии на CO_2, разход на енергия и използване на ресурси. Чрез многоцелеви оптимизационни модели може да се постигне баланс между икономическа ефективност и екологична устойчивост [3].

2.2. Социални (Social) аспекти в инженерната логистика

Социалният компонент на ESG често се подценява в техническите анализи, но той има съществено значение за устойчивостта на логистичните системи. Инженерната логистика допринася за подобряване на условията на труд чрез оптимизация на работните процеси, намаляване на физическото натоварване и повишаване на безопасността.

Инженерните модели за разположение на работните места и вътрешнозаводски транспорт позволяват намаляване на рисковете за персонала и повишаване на производителността. Тези аспекти са тясно свързани с дългосрочната устойчивост и социалната отговорност на предприятията [4].

Ефективната инженерна логистика изисква комбинация от технологични и човешки компетенции. Ергономията играе ключова роля - осигуряване на безопасни и комфортни условия на труд, намаляване на физическото и психическото натоварване и повишаване на производителността на инженерния персонал. [9]

Отвъд корпоративната среда, дигиталните технологии имат по-широки социални и икономически последици:

- Промени на пазара на труда и уменията: нарастващо търсене на дигитални компетенции.
- Неравенство между групите и регионите: дигиталното разделение може да задълбочи неравенствата.
- Въздействие върху публичния сектор и държавните услуги: дигитална администрация и електронно управление. [10]

2.3. Управленски (Governance) модели и логистичен контрол

Управленският компонент на ESG включва прозрачност, отчетност и ефективно вземане на решения. В логистичните системи това се реализира чрез информационни системи, показатели за ефективност и контролни механизми.

Инженерната логистика използва системи за планиране и управление (ERP, MES), които осигуряват проследимост на материалните и информационните потоци. Чрез интегриране на ESG показатели в тези системи се постига по-добър контрол и съответствие с регулаторните изисквания [5]. Инженерният модел за оценка и оптимизация на ESG решенията е илюстриран на Фигура 2.



Фиг. 2. *ESG потоци във вътрешнозаводска система*

Сигурността е ключово предимство на блокчейн технологията в управлението на веригата за доставки. Децентрализацията по природа на блокчейна, съчетана с усъвършенстваните криптографски техники, гарантира, че всички чувствителни данни, свързани със сигурността, се записват и предават сигурно в мрежата. [11] Дигиталната верига за доставки (DSC) е интелигентен, ориентиран към стойността, ефективен процес за генериране на нови форми на приходи и бизнес стойност за организациите и използване на нови подходи с нови технологични и аналитични методи. [12] Това са отлични възможности за интегриране с ESG.

3. Приложение и анализ на ESG в производствените логистични системи

3.1. ESG показатели за логистични системи

Оценката на ESG интеграцията изисква използване на система от показатели, които отразяват екологичните, социалните и управленските аспекти. Типични ESG показатели в логистиката са:

— емисии на CO_2 на единица продукция;
— енергийна ефективност;
— ниво на трудова безопасност;
— прозрачност и надеждност на логистичната информация.

Таблица 1. *Примерни ESG показатели за логистична система*

Показател	Преди внедряване	След внедряване
CO_2 емисии (kg/ед.)	1.20	0.80
Енергийно потребление (kWh)	100	70
Трудови инциденти (бр.)	5	2
Логистични разходи (%)	17 %	12 %

3.2. Анализ на резултатите

Анализът на резултатите показва, че интегрирането на ESG принципите в логистичните системи води до значително подобрение на екологичните и социалните показатели, без съществено влошаване на икономическата ефективност. Напротив, в дългосрочен план инженерно оптимизираните ESG решения допринасят за намаляване на разходите и повишаване на конкурентоспособността [6]. Освен прякото подобрение на ESG показателите, анализът показва, че интегрираният инженерен подход улеснява вземането на управленски решения чрез по-добра структурираност и проследимост на логистичните данни. Наблюдава се и по-висока степен на съгласуваност между екологичните, социалните и икономическите цели, което намалява риска от конфликт между устойчивост и ефективност. Това потвърждава необходимостта от системен анализ при внедряване на ESG ориентирани логистични решения.

3.3. Значение за инженерното проектиране

Включването на ESG принципите в инженерното проектиране изисква интердисциплинарен подход, при който логистичните, технологичните и управленските аспекти се разглеждат едновременно. Това позволява още в началните фази на проектиране да бъдат идентифицирани потенциални рискове и възможности за подобрение на устойчивостта. По този начин инженерната логистика се превръща в ключов инструмент за трансформиране на ESG изискванията в конкретни технически и организационни решения.

Интегрирането на ESG принципите още на етап проектиране на логистичните системи е ключово за тяхната устойчивост. Процесът на анализ, моделиране и оценка на ESG ориентираните инженерни решения е представен на Фигура 3.

Този подход позволява систематично включване на ESG изискванията в инженерното проектиране и управлението на логистичните системи [7].

Известно е, че в последното десетилетие използването и еволюцията на информационните и комуникационните технологии (ИКТ) навлизат все повече в индустриалните производствени предприятия. [13] Това е възможност за ESG.

Заключение

Интегрирането на ESG принципите в логистичните системи на производствените предприятия представлява съвременно инженерно предизвикателство, което изисква системен и количествено обоснован подход.

Настоящата статия показва, че инженерната логистика предоставя ефективни модели и методи за едновременно управление на екологичните, социалните и управленските аспекти на устойчивостта.



Фиг. 3. *Инженерен модел за оценка и оптимизация на ESG решения в логистиката*

Резултатите от анализа потвърждават, че прилагането на ESG ориентирани инженерни решения води до подобрение на ключови показатели като енергийна ефективност, емисии, условия на труд и прозрачност на управлението. В дългосрочен план това допринася за повишаване на конкурентоспособността и устойчивото развитие на производствените предприятия.

Внедряването на ESG принципите още на етап проектиране на логистичните системи създава предпоставки за по-ефективно използване на ресурсите, по-добро съответствие с регулаторните изисквания и засилване на общественото доверие. По този начин инженерната логистика се утвърждава като ключов инструмент за практическото прилагане на ESG концепцията в индустриалната практика.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Atanasova, C., Schwartz, E. ESG integration and corporate performance. Journal of Sustainable Finance & Investment, 2021.

[2] Bai, C., Sarkis, J. Green supply chain management and ESG performance. Journal of Cleaner Production, 2020.

[3] Busch, T., Friede, G. The robustness of ESG metrics. Business Strategy and the Environment, 2021.

[4] Elkington, J. Green and social value creation in operations. California Management Review, 2020.

[5] Govindan, K., Shankar, K. Sustainable logistics and governance mechanisms. International Journal of Production Economics, 2021.

[6] Ranjbari, M., et al. ESG-driven logistics optimization. Journal of Cleaner Production, 2021.

[7] Tseng, M.-L., Lim, M., Wong, W. ESG indicators and sustainable logistics performance. Sustainable Production and Consumption, 2022.

[8] Stoyanov Sv., Georgieva Zh., Yordanov N., За рационалните решения в контекста на интралогистиката, сборник научни трудове, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921

[9] Yankova-Yordanova Y., Doychinov Y., Vachinska-Aleksandrova S., Yordanov N., Research on the application of ergonomics in activities related to engineering logistics, Journal scientific and applied research, Vol. 28, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.77-90

[10] Yordanov N., Yankova-Yordanova Y., New digital technologies challenges and opportunities, Journal scientific and applied research, Vol. 29, Shumen, 2025, ISSN1314-6289 (Print), ISSN 2815-4622 (Online) pp.98-106

[11] Йорданов Н., Блокчейн технология в управлението на веригата за доставки: Текущи приложения и бъдещи перспективи, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 11-21, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[12] Йорданов Н., Дигитални технологии в управлението на веригите за доставки, ГОДИШНИК на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ 2024, стр. 22-34, ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online)

[13] Стоянов, Св., Георгиев Г., Йорданов Н., За управлението на транспортната дейност в индустриалните производствени предприятия. – Сборник доклади от Научна конференция „Логистиката и обществените системи” (Велико Търново, 16 – 17 март 2023 година) – Том 3, Научно направление „Бизнес логистика”, Велико Търново, 2023, Издателски комплекс на НВУ „Васил Левски”, 139 – 144 (9 стр. БДС), ISSN 2738-8034.

ИНЖЕНЕРНИ МОДЕЛИ ЗА УСТОЙЧИВО УПРАВЛЕНИЕ НА ОТПАДЪЦИТЕ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ

Николай Х. Йорданов

ENGINEERING MODELS FOR SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN MANUFACTURING LOGISTICS SYSTEMS

Nikolay H. Yordanov

ABSTRACT: *The increasing environmental pressure on manufacturing enterprises requires the development and application of engineering models for sustainable waste management. This article examines engineering logistics approaches for managing waste flows in production systems, with a focus on minimizing waste generation, optimizing internal transport, and integrating recycling and reverse logistics. Quantitative and simulation-based models are analyzed as tools for improving environmental and economic performance. The results demonstrate that engineering logistics plays a key role in achieving sustainable waste management and compliance with modern environmental requirements.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, Waste management, Sustainable manufacturing, Reverse logistics, Optimization*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NYK

1. Теоретични основи на устойчивото управление на отпадъците

1.1. Същност и значение на управлението на отпадъците

Управлението на отпадъците е един от основните компоненти на устойчивото развитие на производствените предприятия. Нарастващите регулаторни изисквания, обществените очаквания и екологичните ограничения налагат прилагането на системни подходи за намаляване, повторна употреба и рециклиране на отпадъците.

От инженерна гледна точка отпадъците не следва да се разглеждат единствено като нежелан резултат от производството, а като вторичен ресурс, чието управление може да бъде оптимизирано чрез подходящо проектиране на логистичните системи [1]. Инженерната логистика предоставя методи и инструменти за анализ и управление на отпадъчните потоци, аналогично на материалните и информационните потоци в производството.

1.2. Класификация на отпадъците в производствените системи

В производствените логистични системи отпадъците могат да бъдат класифицирани според техния произход и характеристики, като:

- производствени отпадъци (остатъци от суровини и полуфабрикати);
- опаковъчни отпадъци;
- отпадъци от поддръжка и ремонт;
- опасни отпадъци.

Тази класификация е от съществено значение за избора на подходящи инженерни модели за тяхното управление. Различните видове отпадъци изискват различни логистични решения по отношение на събиране, съхранение, транспорт и третиране [2].

1.3. Роля на инженерната логистика при устойчивото управление на отпадъците

Инженерната логистика разглежда управлението на отпадъците като част от цялостната логистична система на предприятието. Това включва интегриране на отпадъчните потоци във вътрешнозаводската логистика и синхронизирането им с основните производствени процеси.

Общата концепция за управление на отпадъците чрез инженерна логистика, включваща материални и информационни потоци, е представена на **Фигура 1**.



Фиг. 1. *Принципи на устойчивото управление на отпадъците*

2. Инженерни модели за управление на отпадъчните потоци

2.1. Количествени модели за минимизиране на отпадъците

Количествените модели са основен инструмент на инженерната логистика при анализа и оптимизацията на отпадъчните потоци. Те позволяват

идентифициране на източниците на отпадъци и оценка на възможностите за тяхното намаляване още на етап проектиране на производствените процеси.

Сред най-често използваните модели са:

- модели за балансиране на материалните потоци;
- модели за оптимизация на производствените партиди;
- модели за минимизиране на отпадъчните разходи.

Тези модели позволяват количествена оценка на ефекта от различни инженерни решения върху обема и вида на генерираните отпадъци [3].

2.2. Логистика на отпадъците и вътрешнозаводски транспорт

Управлението на отпадъците изисква ефективна организация на вътрешнозаводския транспорт. Появата на допълнителни потоци, свързани със събирането и транспортирането на отпадъци, увеличава натоварването на логистичната система.

Чрез инженерни методи като анализ на разположението (layout analysis) и симулационно моделиране може да се постигне:

- намаляване на транспортните разстояния;
- оптимизиране на маршрутите;
- по-добро използване на транспортните средства.

Материалните и информационните потоци при управление на отпадъците във вътрешнозаводската логистика са илюстрирани на **Фигура 2**.



Фиг. 2. *Материален поток във вътрешнозаводска логистична система*

2.3. Инженерни модели за рециклиране и обратна логистика

Обратната логистика е ключов елемент при устойчивото управление на отпадъците. Тя обхваща процесите по събиране, сортиране, транспортиране и предаване на отпадъците за рециклиране или повторна употреба.

Инженерните модели за обратна логистика позволяват оптимизация на тези процеси чрез:

- минимизиране на разходите;
- намаляване на екологичния отпечатък;
- инженерните модели за обратна логистика позволяват оптимизация на тези процеси чрез минимизиране на разходите, намаляване на екологичния отпечатък и подобряване на координацията между производствените и рециклиращите звена [4], като в последните изследвания се акцентира върху интеграцията на принципите на кръговата икономика в инженерната логистика [6].

3. Приложение и анализ на инженерните модели за устойчиво управление на отпадъците

3.1. Показатели за оценка на ефективността

Оценката на ефективността на управлението на отпадъците се извършва чрез система от показатели, които отразяват както икономическите, така и екологичните резултати. В съвременните изследвания се предлага използването на комбинирани логистични и екологични индикатори, които позволяват по-обективна оценка на устойчивостта на производствените системи [7].

Сред основните показатели са:

- количество генерирани отпадъци;
- дял на рециклираните материали;
- разходи за управление на отпадъците;
- енергийна ефективност на логистичните процеси.

Таблица 1. *Показатели за ефективност при управление на отпадъците*

Показател	Преди оптимизация	След оптимизация
Отпадъци (kg/ед.)	1.00	0.65
Рециклиране (%)	25 %	55 %
Логистични разходи (%)	16 %	12 %

3.2. Анализ на резултатите

Резултатите от прилагането на инженерните модели показват, че системният подход към управлението на отпадъците води до значително подобрение на показателите за устойчивост. Намаляването на количеството отпадъци и увеличаването на дела на рециклираните материали оказват

положително влияние върху икономическата ефективност и екологичния имидж на предприятието [5].

3.3. Значение за инженерното проектиране

Интегрирането на управлението на отпадъците още на етап проектиране на производствените логистични системи е от ключово значение за дългосрочната им устойчивост. Процесът на анализ, моделиране и оценка на инженерните решения за управление на отпадъците е представен на **Фигура 3**.



Фиг. 3. *Процес за оптимизация на инженерните решения за управление на отпадъците*

Заключение

Устойчивото управление на отпадъците е съществен елемент от съвременната инженерна логистика и представлява ключов фактор за постигане на екологична и икономическа устойчивост в производствените предприятия. Прилагането на инженерни модели и количествени методи позволява систематичен анализ и оптимизация на отпадъчните потоци, като същевременно се подобрява ефективността на логистичните процеси и се намалява негативното въздействие върху околната среда.

Резултатите от разгледаните модели показват, че интегрирането на управлението на отпадъците във вътрешнозаводската логистика и обратната логистика води до значително намаляване на разходите, по-добро използване на ресурсите и повишаване на дела на рециклираните материали. Това потвърждава, че отпадъците следва да се разглеждат не само като екологичен проблем, но и като

потенциален ресурс, който може да бъде ефективно управляван чрез инженерни решения.

В дългосрочен план внедряването на устойчиви инженерни модели за управление на отпадъците подпомага повишаването на конкурентоспособността на производствените предприятия и улеснява съответствието с нарастващите регулаторни и обществени изисквания. Интегрирането на тези модели още на етап проектиране на логистичните системи създава предпоставки за устойчиво развитие и по-ефективен преход към екологично ориентирано индустриално производство.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Awasthi, A., Govindan, K., Gold, S. Multi-tier sustainable global supplier selection using a hybrid decision-making approach. International Journal of Production Economics, 2021.

[2] Bai, C., Sarkis, J. Integrating sustainability into supplier selection: A grey-based DEMATEL analysis. Journal of Cleaner Production, 2020.

[3] Govindan, K., Soleimani, H., Kannan, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review. European Journal of Operational Research, 2020.

[4] Kumar, A., Mangla, S., Luthra, S. Sustainable waste management in manufacturing systems. Resources, Conservation & Recycling, 2021.

[5] Nematollahi, M., Hosseini-Motlagh, S. Sustainable logistics network design under uncertainty. Transportation Research Part E, 2022.

[6] Ranjbari, M., Esfandabadi, Z., Zanetti, M. Circular economy and logistics engineering integration. Journal of Cleaner Production, 2021.

[7] Tseng, M.-L., Lim, M., Wong, W. Sustainable waste management indicators for manufacturing industries. Sustainable Production and Consumption, 2022.

ИНЖЕНЕРНИ ПОДХОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА УСТОЙЧИВИ ЛОГИСТИЧНИ СИСТЕМИ В ПРОИЗВОДСТВОТО

Николай Х. Йорданов

ENGINEERING APPROACHES FOR MANAGING SUSTAINABLE LOGISTICS SYSTEMS IN MANUFACTURING

Nikolay H. Yordanov

ABSTRACT: *Sustainable logistics has become a key element in modern manufacturing systems due to increasing environmental, economic, and regulatory pressures. This article examines engineering approaches for managing sustainable logistics systems in production environments. The focus is placed on material and information flows, inventory optimization, internal transportation, and the integration of sustainability criteria into engineering decision-making. Quantitative models, performance indicators, and illustrative examples are presented to demonstrate the practical application of engineering logistics. The results highlight the importance of a systems approach and the integration of sustainability principles in the design and operation of logistics systems.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, Sustainable logistics, Manufacturing systems, Optimization, Material flows*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NYL

1. Теоретични основи на устойчивата инженерна логистика

1.1. Същност на устойчивата логистика

Устойчивата логистика представлява развитие на класическите логистични концепции, при което наред с икономическата ефективност се отчитат и екологичните и социалните аспекти на логистичните процеси. В инженерната логистика устойчивостта се разглежда като системно свойство, което трябва да бъде заложено още на етап проектиране на производствените и логистичните системи.

Инженерната логистика интегрира технически, икономически и екологични критерии при управлението на материалните, информационните и енергийните потоци. Основната ѝ цел е постигане на оптимален баланс между разходи, ефективност и въздействие върху околната среда [1].

1.2. Логистични процеси и устойчивост в производствените системи

Основните логистични процеси в производствените системи включват:

- снабдяване със суровини и материали;

- вътрешнозаводски транспорт;
- складиране и управление на запаси;
- дистрибуция на готовата продукция.

От гледна точка на устойчивостта всеки от тези процеси е свързан с потребление на ресурси, енергия и генериране на емисии. Оптимизацията им чрез инженерни методи води до намаляване на загубите, по-добро използване на капацитета и ограничаване на негативното въздействие върху околната среда. Общата структура на устойчивата логистична система в производствено предприятие е представена на **Фигура 1**.



Фиг. 1. *Устойчива логистична система в производствено предприятие*

1.3. Системен подход и устойчиви логистични вериги

Устойчивата инженерна логистика изисква системен подход, при който производствената логистика се разглежда като част от по-широка логистична верига. Анализът на взаимовръзките между доставчици, производствени звена и клиенти позволява идентифициране на критични точки и вземане на инженерно обосновани решения за подобряване на цялостната ефективност [2].

2. Инженерни методи за управление на устойчиви логистични системи

2.1. Инженерни модели за управление на запасите

Управлението на запасите е ключов елемент на устойчивата логистика. Прекомерните запаси водят до допълнителни разходи за складиране и повишено енергийно потребление, докато недостатъчните запаси увеличават риска от прекъсвания в производството.

Инженерната логистика използва количествени модели, като модела на икономичния размер на поръчката (EOQ), адаптиран с екологични критерии. В

тези модели към класическите разходи се добавят показатели, свързани с енергийното потребление и въглеродния отпечатък [3].

Таблица 1. *Основни параметри при устойчиво управление на запасите*

Показател	Обозначение	Единица
Годишно търсене	D	бр./год.
Разходи за поръчка	S	лв./поръчка
Разходи за съхранение	H	лв./бр./год.
Енергиен разход	E	kWh

2.2. Оптимизация на вътрешнозаводския транспорт

Вътрешнозаводският транспорт е съществен източник на енергийно потребление и емисии. Чрез инженерни методи като линейно програмиране, симулационно моделиране и анализ на разположението на производствените звена може да се постигне значително намаляване на транспортните разстояния и времето за преместване на материалите [4].

Материалните и информационните потоци във вътрешнозаводската логистика са схематично представени на **Фигура 2**, която илюстрира взаимодействието между складовете и производствените звена.



Фиг. 2. *Материален и информационен поток във вътрешнозаводска устойчива логистика*

2.3. Симулационни модели и устойчиво планиране

Симулационното моделиране намира широко приложение при анализа на устойчиви логистични системи. То позволява оценка на различни сценарии, включително промени в обемите на производство, транспортните маршрути и използваните ресурси. Чрез симулации могат да се идентифицират оптимални решения с минимално екологично въздействие и приемливи икономически резултати.

3. Приложение и анализ на устойчивата инженерна логистика

3.1. Показатели за оценка на устойчивостта

Оценката на устойчивостта на логистичните системи се извършва чрез система от показатели, които отразяват както икономическите, така и екологичните резултати. Сред най-често използваните показатели са:

- логистични разходи като процент от оборота;
- енергийно потребление на логистичните процеси;
- ниво на обслужване на клиентите.

Таблица 2. *Показатели за логистична ефективност и устойчивост*

Показател	Преди оптимизация	След оптимизация
Логистични разходи (%)	17 %	12 %
Енергийно потребление (kWh)	100	75
Ниво на обслужване (%)	93 %	98 %

3.2. Анализ на резултатите

Анализът на резултатите показва, че прилагането на инженерни подходи за устойчиво управление на логистичните системи води до значително подобрение както на икономическите, така и на екологичните показатели. Намаляването на енергийното потребление и логистичните разходи оказва положително влияние върху конкурентоспособността на производствените предприятия.

3.3. Значение за инженерното проектиране

Интегрирането на принципите на устойчивата логистика още на етап проектиране на производствените системи е от ключово значение за дългосрочната им ефективност. Процесът на вземане на инженерни решения, включващ анализ, моделиране и оценка, е представен на **Фигура 3**.

Заключение

Устойчивата инженерна логистика се утвърждава като съществен фактор за развитието на съвременните производствени системи. Чрез прилагане на

инженерни и количествени методи е възможно да се постигне едновременно повишаване на ефективността и намаляване на негативното въздействие върху околната среда. Настоящата статия показва, че системният подход и интеграцията на устойчивостта в инженерното проектиране са ключови за успешното управление на логистичните системи.



Фиг. 3. *Процес на устойчиво логистично планиране и оптимизация*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management. Pearson Education, 2016.

[2] Pfohl, H.-C. Logistics Systems: Basics, Analysis and Design. Springer, 2018.

[3] Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. Kogan Page, 2017.

[4] Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. Operations Management. Pearson, 2019.

КРИЗИСНА ЛОГИСТИКА В ЕПОХАТА НА НОВИТЕ ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ: РАМКА, ИНСТРУМЕНТИ И МОДЕЛ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ

Николай Х. Йорданов

CRISIS LOGISTICS IN THE ERA OF NEW DIGITAL TECHNOLOGIES: FRAMEWORK, TOOLS AND IMPLEMENTATION MODEL

Nikolay H. Yordanov

ABSTRACT: *Crisis logistics (humanitarian/emergency logistics) is a critical function in disaster and emergency management, as it determines the speed, accuracy and fairness of aid deliveries to affected communities. In recent years, digital transformation (IoT, artificial intelligence, digital twins, drones, blockchain, geo-analytics and data exchange platforms) has changed the way logistics operations in crises are planned, coordinated and executed. This article offers a scientifically sound framework, theoretical foundations and performance indicators, technological architecture and applicability of new digital technologies, an implementation model with a benefit/risk assessment and recommendations. Particular attention is paid to responsible data management (data responsibility) as a prerequisite for trust and sustainability.*

KEYWORDS: *Crisis logistics, Humanitarian logistics, Digitalization, IoT, Artificial intelligence, Digital twins, Blockchain, Optimization, Data responsibility*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NYM

1.Същност на кризисната логистика и управленски показатели

1.1. Дефиниция и оперативен контекст

Кризисната логистика обхваща планиране, снабдяване, складиране, транспорт и разпределение на ресурси (храни, вода, лекарства, подслон, оборудване) при бедствия, конфликти, епидемии и комплексни кризи. Тя се отличава от търговската логистика по: висока неопределеност на търсенето и инфраструктурни ограничения, множество участници (държавни агенции, НПО, частен сектор, доброволци), силни времеви ограничения и морално-етични цели (спасяване на живот, равнопоставен достъп). Систематични прегледи на литературата подчертават нарастващия интерес и нуждата от динамично планиране и интеграция на данни в хуманитарната логистика. [10]

1.2. „Триъгълникът“ време–видимост–координация

Ефективността на кризисната логистика често се „счупва“ в три точки:

1. Време (time-to-serve): от заявка до доставка на последната миля;

2. Видимост (end-to-end visibility): какво, къде, в какво състояние е налично;
3. Координация (multi-actor coordination): избягване на дублиране, пропуски и задръствания.

Дигиталните технологии адресират тези три слабости чрез автоматизирано събиране на данни (IoT/RFID), прогнози и оптимизация (AI), споделена оперативна картина (платформи/геоаналитика) и симулации (цифрови двойници). [9]

1.3. Показатели (KPIs) за измерване на резултатите при кризи

Предлагаме минимален набор от KPIs, приложим за агенции и координационни центрове:

- Скорост: средно време до доставка (TTA), процент доставки в „златен прозорец“ (напр. 72 часа).
- Надеждност: OTIF (on-time in-full), процент загуби/повреди.
- Покритие и справедливост: дял обслужени уязвими групи, географско покритие.
- Ефективност: разход на тон-километър, капацитет на склад/транспорт, процент празни курсове.
- Информационно качество: точност на инвентара, латентност на данните, процент „слепи петна“.
- Сигурност и доверие: инциденти по киберсигурност/поверителност, съответствие с принципи за отговорни данни. [8]

2. Нови дигитални технологии в кризисната логистика: приложения и архитектура

2.1. Технологични „пластове“ на дигиталната кризисна логистика

Практически работещите решения рядко са „една технология“. По-скоро представляват стек:

(A) Сензори и идентификация: RFID/QR, IoT датчици (температура, влажност, удар), GPS/телематика.

(B) Свързаност и обмен: клетъчни мрежи, LoRaWAN, сателит, офлайн-first мобилни приложения.

(C) Данни и интеграция: data lake, стандартизирани формати, споделяне между организации.

(D) Аналитика и оптимизация: AI/ML за прогнозиране, маршрутизация, разпределение, откриване на измами.

(E) Визуализация и управление: GIS табла (dashboards), командни центрове, мобилни „оперативни“ изгледи.

(F) Симулации и цифрови двойници: сценарии, капацитетни симулации, оценка на политики и зависимости. [7]

Таблица 1. *Технологии и типични ползи в кризисната логистика*

Технология	Къде помага най-много	Основна полза	Типичен риск/ограничение
RFID/IoT (вкл. температурен мониторинг)	Склад, транспорт, студена верига	Видимост в реално време и по-малко загуби	Свързаност, стандартизация, киберрискове
AI/ML (прогнози, оптимизация)	Планиране, маршрути, последна миля	По-добро разпределение при дефицит	Пристрастия в данните, „черна кутия“
Геоаналитика (GIS, remote sensing)	Оценка на щети, достъпност	По-точно насочване на ресурси	Актуалност на данни, интероперативност
Дронове/роботика	Достъп до изолирани райони	Бърза доставка/разузнаване	Регулации, време, капацитет
Блокчейн/разпределени регистри	Проследимост, дарения, ваучери	Доверие и отчетност	Сложност, мащабируемост, поверителност
Цифрови двойници	Подготовка и управление на сценарии	„Какво-ако“ анализ и координация	Високи изисквания към данни/модели
Социално-медийно „слушане“	Ранни сигнали, нужди на населението	По-добра AAP (accountability to affected people)	Дезинформация, етика

Тази архитектура е в синхрон с тенденциите за дигитализация в хуманитарната помощ и нарастващото използване на цифрови двойници като инструменти за кризисен мениджмънт. [2]

2.2. Data responsibility като „условие за работа“

При кризи се обработват чувствителни данни (местоположение, здравни нужди, уязвимост). Насоките на OCHA и IASC подчертават принципи, процеси и инструменти за безопасно, етично и ефективно управление на данни (минимизация, целева употреба, сигурност, отчетност, оценка на риск). [8,3]

3. Модел за внедряване и оценка на ефекта: сценарийно-ориентиран подход

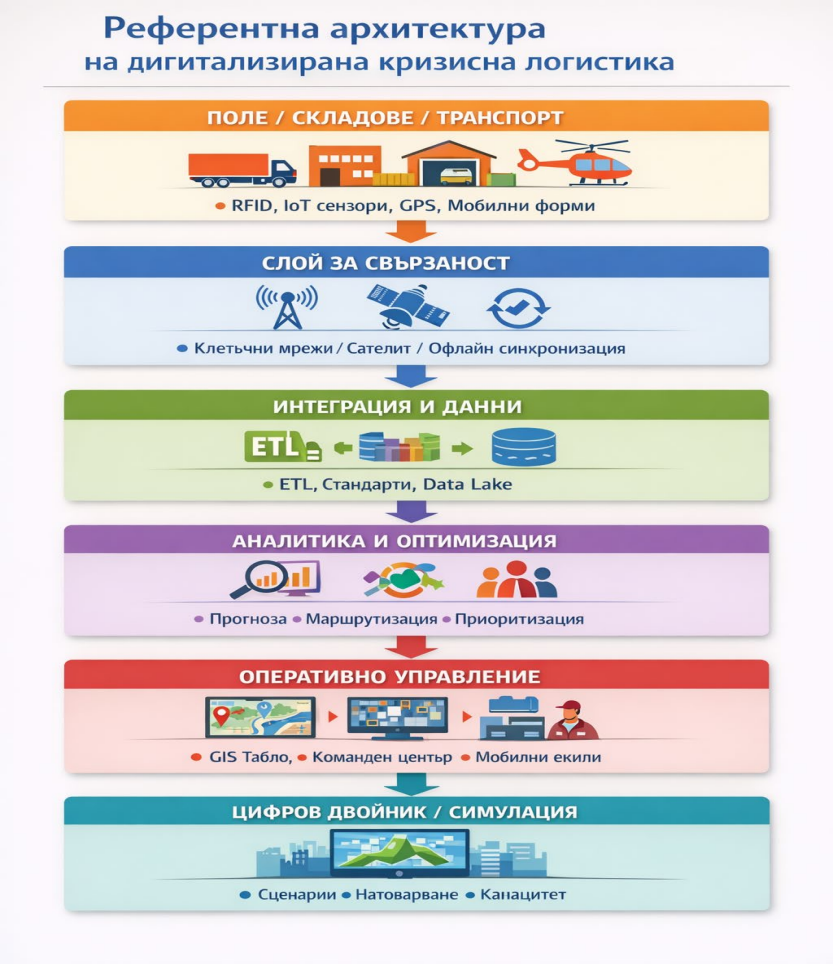
3.1. Предложен модел: „MVP → мащабиране → цифров двойник“

Предлагаме трислоен модел за внедряване, който намалява риска и ускорява ползите:

1. MVP (0–6 месеца): минимално жизнеспособна дигитализация
   - единен каталог на ресурси (инвентар),
   - базово проследяване (RFID/QR + мобилно сканиране),
   - оперативно табло (GIS) за заявки/доставки.
2. Оптимизация (6–18 месеца): AI-подпомогнато планиране

- прогноза за търсене по райони,
- оптимизация на маршрути (динамични ограничения),
- правила за справедливост (приоритизация по уязвимост). [4]

3. Цифров двойник (18+ месеца): симулации и „какво-ако“
   - моделиране на инфраструктурни прекъсвания,
   - капацитет на складове/флоти,
   - взаимодействия между агенции,
   - обучение и подготовка (table-top exercises). [1]



Фиг. 1. *Референтна архитектура на дигитализирана кризисна логистика*

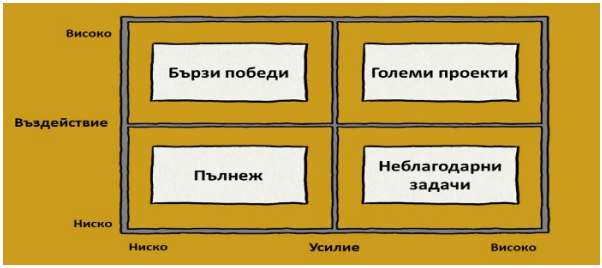
3.2. Очакван ефект по KPI при дигитализация

Таблица 2. *Примерна относителна промяна (в %) на ключови KPI след внедряване на технологии*

KPI	Очакван ефект
Точност на инвентара	+25%
Средно време до доставка	−20%
Празни курсове	−15%
Загуби/повреди	−10%
Видимост в реално време	+30%

Забележка: Посоката и размерът на ефекта зависят от зрелостта на процесите и качеството на данните; литературата подчертава, че дигитализацията усилва гъвкавостта и координацията, когато е съчетана с организационни реформи и междусекторно сътрудничество. [3]

3.3. Фигура: матрица „въздействие–зрелост“ за приоритизация



Фигура 2. Матрица за приоритизация на технологии (пример)

Интерпретация: GIS + базово проследяване обикновено са „бързи победи“, докато цифровите двойници дават високо стратегическо въздействие, но изискват по-зряла инфраструктура и управление на данни. [7]

3.4. Рискове и мерки за управление

- Киберсигурност и непрекъсваемост: сегментация на мрежи, офлайн режими, резервни процедури.
- Етика и поверителност: DPIA/оценка на риск, минимизация на лични данни, контрол на достъпа, политики за споделяне. [6]
- Интероперативност: стандарти за данни, API-first интеграции, общи речници за артикули/локации.
- Организационна готовност: обучение, роли (data steward), управление на промяната.

3.5. Дискусия: защо „технологията сама“ не е достатъчна

Съвременните изследвания за хуманитарни вериги на доставки в дигиталната ера показват, че технологиите работят най-добре, когато са подкрепени от: ясно управление и координационни протоколи, доверие и споделяне на информация, метрики за резултат и отчетност. [10] Допълнително, насоките за data responsibility поставят рамка за балансиране между оперативна ефективност и защита на засегнатите лица—ключово условие за легитимност на дигиталните решения при кризи. [5]

Заключение

Кризисната логистика е област, в която дигиталните технологии могат да спасят животи чрез по-бързи доставки, по-добра видимост и по-точна координация. Най-обещаващи са комбинираните подходи: IoT/RFID за проследимост, AI за прогнозиране и оптимизация, и цифрови двойници за сценарийно планиране и обучение. За да бъдат устойчиви тези решения, те трябва да се внедряват поетапно (MVP → оптимизация → цифров двойник) и да се управляват с високи стандарти за сигурност, интероперативност и отговорност при работа с данни. В резултат организациите могат да постигнат измерими подобрения в скоростта, надеждността и справедливостта на хуманитарните доставки, особено когато дигитализацията е съпътствана от процесна и координационна зрелост.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Abrishami, S. et al. (2025). Digital Twins and Augmented Reality for Humanitarian... (MDPI).

[2] European Commission DG ECHO (2023). Digitalisation (Humanitarian Aid factsheet/report).

[3] IASC / UNHCR (2023). Operational Guidance on Data Responsibility in Humanitarian Action.

[4] Idrissi, Z.K. et al. (2024). Blockchain, IoT and AI in logistics and transportation (ScienceDirect).

[5] Köstepen, Z.N. (2025). Literature Review on Humanitarian Logistics in Disaster... Sustainability (MDPI).

[6] Lagap, U. et al. (2024). Digital post-disaster risk management twinning: A review... (ScienceDirect).

[7] Lebas, A. (2023). Digital Twins: Tools for Crisis Management... (report, PDF).

[8] OCHA Centre for Humanitarian Data (2025). Revised OCHA Data Responsibility Guidelines.

[9] Płaczek, E., Świtalska, A. (2023). New Technologies in Humanitarian Logistics.

[10] Shrivastav, S.K. (2024). Humanitarian supply chain management in the digital age (PDF).

ИНЖЕНЕРНА ЛОГИСТИКА И НОВИТЕ ДИГИТАЛНИ ТЕХНОЛОГИИ

Николай Х. Йорданов

ENGINEERING LOGISTICS AND NEW DIGITAL TECHNOLOGIES

Nikolay H. Yordanov

ABSTRACT: *This article examines engineering logistics as a key functional area in global engineering, manufacturing and supply systems, added in the context of accelerated digital transformation. The concepts, scope and main functions of engineering logistics are clarified, emphasizing its integrative role in the management of material, information and control flows. The exceptional challenges arising from the increasing complexity of supply chains, the need for flexibility, a high degree of coordination resilience are also analyzed. The role of new digital technologies within the framework of the "Logistics 4.0" concept is examined, including the Internet of Things, cloud and edge computing, artificial intelligence, robotics, blockchain and digital twins.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, Logistics 4.0, Digitalization, Digital technologies, Internet of Things (IoT), Artificial intelligence, Automation and robotics, Intralogistics, Digital twins, Supply chain management, Sustainability, Logistics platforms*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NYN

1. Понятие, функции и съвременни предизвикателства на инженерната логистика

Понятие и обхват

Инженерната логистика (или „логистика в инженерните системи“) се отнася до планирането, реализирането и управлението на ефективното движение, съхранение и обработка на материали, части, продукти и информация в рамките на инженерно-производствени, строителни или снабдителни мрежи. Тя интегрира функции като входяща логистика (inbound), вътрешна логистика (intra-logistics, заводска), изходяща логистика (outbound), съхранение, складова дейност, складова автоматизация, както и информационни и контролни потоци.
Основната цел е да се достави «правилният продукт/компонент» в правилното количество, с подходящо качество, на точното място, във вярното време — и при минимални разходи. Тази дефиниция кореспондира с класическата логистична цел, адаптирана към инженерни системи (материали, компоненти, машини) [6]

Основни функции и интеграция

Ключовите функции на инженерната логистика могат да бъдат описани по следния начин:

- Планиране и прогнозиране – определяне на необходимите материали и компоненти, техните количества, срокове и маршрути.
- Транспорт и движение на материали – управление на потоците от доставчици към производството и оттам към клиента или складовете.
- Съхранение и складова дейност – приемане, складиране, обработка, комплектоване, скласиране и издаване на материали/продукти.
- Интералогистика (вътрешна логистика) – движение на материали *вътре* в производствения или инженерния комплекс, включващо автоматизирани складови системи, AGV, роботи и др.
- Информационни и цифрови потоци – обмен на данни, проследяване, мониторинг, визибилити (visibility) и контрол.
- Оптимизация и устойчивост – намаляване на разходите, подобряване на качеството, намаляване на времето на цикъла, повишаване на устойчивостта и гъвкавостта.

Съвременни предизвикателства

В контекста на динамичните инженерни системи и глобализацията на веригите за доставки, инженерната логистика се среща с множество предизвикателства:

- Увеличена комплексност – множество компоненти, доставчици, междинни звена и различни географски локации.
- Изискване за гъвкавост и индивидуализация – клиентите очакват по-индивидуални продукти и по-ускорени срокове, което поставя високи изисквания към логистиката.
- Ограничения по време и пространство – доставка навреме, в точното място, с минимални запаси (lean логистика) и минимални прекъсвания.
- Повишени очаквания за устойчивост и екологичност – минимизиране на отпадъци, вредни емисии, рационално използване на ресурсите.
- Информационен и технологичен напредък – необходимост от интеграция на нови технологии, дигитализация, автоматизация и интелигентни системи.

Тези предизвикателства налагат трансформация на инженерната логистика чрез внедряване на нови дигитални технологии, което ще разгледаме подробно в следващите глави.

2. Новите дигитални технологии и тяхната роля в инженерната логистика

Преглед на ключовите технологии

В рамките на концепцията на Logistics 4.0 (или „Логистика 4.0“) се акцентира върху интеграцията на дигитални технологии като основен двигател за трансформация на логистичните процеси. Според Albrecht et al. (2024), тези технологии се прилагат в логистика като *интраорганизационална перспектива* и обхващат IoT, блокчейн, облачни платформи, изкуствен интелект, роботизация и интелигентни превозни средства. [1] Някои от най-значимите:

- Интернет на нещата (IoT) – сензори и устройства, които събират данни в реално време, проследяват стоки, машини, транспортни единици и др.
- Облачни изчисления (Cloud Computing) и краен изчислителен ресурс (Edge Computing) – позволяват обработка, анализ и споделяне на данни и приложения за логистика.
- Изкуствен интелект (AI) и машинно обучение (ML) – използват се за прогнозиране на търсенето, оптимизация на маршрути, автоматизирано вземане на решения.
- Роботизация и автоматизация (AGV – Automated Guided Vehicles, роботи за складиране и подбор, AS/RS – Automated Storage/Retrieval Systems) – подобряват складовата дейност и вътрешната логистика.
- Блокчейн технологии – осигуряват прозрачност, сигурност и доверие при обмен на данни между партньори в веригата на доставки.
- Цифрови близнаци (Digital Twin) – виртуални копия на физически системи, чрез които могат да се симулират процеси, да се извършва мониторинг и оптимизация.
- Платформи за управление и визибилити (Digital Logistics Platforms, DLPs) – централни решения, които интегрират множество логистични функции и позволяват по-голяма ефективност.

Таблица 1. *Основни функции на инженерната логистика*

Функция	**Описание**
Планиране и прогнозиране	Определяне на материали, количества и маршрути
Транспорт и движение	Управление на поток от доставчици → производство → клиент/склад
Съхранение и складова дейност	Прием, складиране, обработка и издаване на материали/продукти
Интралогистика	Вътрешни материалодвижения, автоматизирани системи
Информационни потоци	Проследяване, мониторинг, данни, визибилити
Оптимизация и устойчивост	Локализиране на възможности за намаляване на разходи и ресурси

Как тези технологии променят инженерната логистика

Следва преглед на ключови промени и ефекти:

Реално време и визибилити

С използването на IoT и платформи за визибилити се постига проследяване на стоки и материали „на живо“. Това повишава точността, намалява загубите и непланираното време. Изследване показва, че фирми, които интегрират

дигитални технологии в своите продоволствено-логистични вериги, могат да намалят разходите с 20–30% и да подобрят производителността на услугите. [2]

Автоматизация и вътрешна логистика

В рамките на вътрешната логистика („интралогистика“) използването на AGV, роботи, автоматизирани складови системи води до по-висока ефективност, по-малко човешка намеса и по-малко грешки. Разработен е каталог и концептуална рамка от 10 технологични affordances (възможности) в интралогистика. [1]

Оптимизация чрез AI и аналитика

Събирането на големи обеми данни + AI/ML води до по-добро прогнозиране, оптимизиране на маршрути, планиране на капацитет, складиране и дистрибуция. Например, Woschank et al. (2021) подчертават, че цифровизацията в индустриалната логистика създава многобройни възможности за създаване на конкурентни предимства. [6]

Практически примери и визуално представяне

Ето една графика, която илюстрира как инженерната логистика – чрез дигитални технологии – преминава от традиционна към дигитализирана система:



Фиг. 1. *Основни технологични елементи в логистика 4.0*

Таблица 2. *Съпоставка между традиционна и дигитална инженерна логистика*

Показател	Традиционна логистика	Дигитална инженерна логистика
Време за обработка	По-бавно, често ръчно	В реално време, автоматизирано
Видимост на потоците	Ограничена	Потенциал за глобална видимост (visibility)
Човешка намеса	Висока	По-ниска, с автоматизация
Грешки и забавяния	Чести	Намалени чрез мониторинг и интелигентност
Възможности за прогнозиране	Основно по исторически данни	Прогнози чрез AI/ML и реално време
Гъвкавост към промени	Ограничена	Висока – адаптиране чрез цифрови технологии

Предимства и рискове

Предимства

- Повишаване на оперативната ефективност и намаляване на разходите. Например: Atieh et al. (2025) показват, че фирми, интегрирали цифрови технологии, могат да постигнат значителни спестявания. [2]
- Повишена надеждност, точност, проследяване и контрол.
- Подобряване на устойчивостта – чрез по-добро използване на ресурсите, намаляване на запаси и емисии.
- Подобрено обслужване и удовлетвореност на клиента (по-бърза доставка, по-голяма прозрачност).
- Подобрена устойчивост на веригата при кризи – по-добра адаптация и реакция.

Рискове и предизвикателства

- Високи първоначални инвестиции и необходимост от нови компетенции.
- Сложност при интеграция на множество технологии и системи – често липсва координация.
- Проблеми със сигурността на данните и киберрискове.
- Необходимост от промяна в организационната култура и управление на промяната.
- Недостатъчно емпирично изследване относно реалното въздействие (отбелязано като изследователска празнина) [4]

3. Стратегии за внедряване и бъдещи тенденции в инженерната логистика

Стратегически подход към внедряване

За да се извлече максимален ефект от дигиталните технологии в инженерната логистика, се препоръчва следният стратегически подход:

Оценка на готовността

Необходимо е да се оцени технологичната готовност, иновационният капацитет и съществуващата логистична инфраструктура. Например, Prause et al. изследват как технологичната готовност е значително положително корелирана с логистичната ефективност. [3]

Пилотен проект и поетапно внедряване

Започване с пилотен проект (напр. автоматизиран склад или IoT проследяване), последван от мащабиране.

Интеграция на системите и стандарти

Внедряване на системи, които могат да се свързват помежду си (например ERP, WMS, TMS) и използване на стандарти за обмен на данни.

Развитие на компетенции и управление на промяната

Обучение на персонала, насърчаване на дигитална култура и управление на съпротивата към промяна.

Измерване и оптимизация

Определяне на KPI (време на доставка, разходи, точност на запасите, проценти грешки) и постоянно подобряване чрез обратна връзка.

Бъдещи тенденции

Платформи & екосистеми

Растяща употреба на дигитални логистични платформи (DLP – Digital Logistics Platforms) като средство за интеграция на множество функции и участници във веригата. Например, Liu et al. (2025) показват, че DLP подобряват ефективността и устойчивостта на веригата.

Цифрови близнаци (Digital Twin) и симулации

Цифровите близнаци стават все по-важни за инженерната логистика – чрез моделиране на складови процеси, транспортни потоци и симулации за оптимизация. (подобно на изследването за пристанища)

Автономни превозни средства и роботи

Развитие на автономни системи за последна миля, безпилотни превозни средства, роботи в складовете – като част от „умната логистика“.

Интеграция на устойчивост и зелени логистични практики

Дигиталните технологии ще подпомагат екологичната логистика: оптимизация на маршрутите (намаляване на емисии), оптимизация на складовите запаси и превозите.

Заключение

Инженерната логистика се намира в критичен момент на трансформация. Новите дигитални технологии предоставят възможности за значително подобрение на ефективността, устойчивостта и гъвкавостта на логистичните системи. Въпреки това, за да се реализира този потенциал, организациите трябва да подхождат стратегически – с оценка на готовността, пилотно внедряване, интеграция на системи, развитие на компетенции и измерване на резултати.

Както отбелязват изследователите, липсва все още достатъчно емпирично знание за дългосрочните ефекти и преодоляване на бариерите. [4] По същото време, категоризацията и рамките, като тези на Albrecht et al., помагат да се структурират възможностите на логистика 4.0. [1]
С оглед на българския контекст, внедряването на дигитална инженерна логистика изисква внимание към националната технологична инфраструктура, образование, стандарти и сътрудничество между академията и бизнеса. [5] Проучване на български автори показва, че дигиталните технологии в логистиката имат потенциал да подобрят конкурентоспособността, но се срещат предизвикателства

Примерна схема за бъдеща архитектура



Фиг. 2. *Архитектура на интегрирана дигитална логистична система*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Albrecht, T., et al. (2024) Leveraging Digital Technologies in Logistics 4.0: Insights from an Intra-Organisational Perspective. Springer.

[2] Atieh, A. A., et al. (2025) The Impact of Digital Technology, Automation, and Data Analytics on Logistics and Supply Chain Performance. MDPI.

[3] Prause, G., Moldabekova, A., Satybaldin, A. (2021) Technological Readiness and Innovation as Drivers for Logistics Performance of Countries. Journal of Asian Finance Economics and Business.

[4] Shahan, D. (2025) Evaluating the Effects of Digital Transformation on Logistics Performance. Journal of ETA Maritime Science.

[5] Valeva, K., Alexieva, V. (2024) Application of Digital Technologies in the Logistics Sector. BIO Web of Conferences.

[6] Woschank, M., Zsifkovits, H. (2021) Digitalization in Industrial Logistics. IEOM Society.

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЛОГИСТИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ В ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ ЧРЕЗ ИНЖЕНЕРНИ МЕТОДИ

Николай Х. Йорданов

OPTIMIZATION OF LOGISTICS PROCESSES IN PRODUCTION SYSTEMS THROUGH ENGINEERING METHODS

Nikolay H. Yordanov

ABSTRACT: *Engineering logistics plays a key role in increasing the efficiency, sustainability and competitiveness of modern production systems. This article examines the main logistics processes in production and the possibilities for their optimization through engineering methods and models. Concepts such as material flows, inventory management, transportation and warehousing are analyzed, as well as the use of quantitative methods for decision-making. Examples of modeling, tables and graphical dependencies are presented, which illustrate the practical application of engineering logistics. In conclusion, the importance of the systems approach and the integration of logistics in engineering design is emphasized.*

KEYWORDS: *Engineering logistics, Production systems, Optimization, Material flows, Inventory management*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NYO

Същност на кризисната логистика и управленски показатели

1. Теоретични основи на инженерната логистика

1.1. Същност и обхват на инженерната логистика

Инженерната логистика представлява интердисциплинарна област, която обединява принципи от инженерните науки, икономиката и управлението с цел ефективно планиране, проектиране и управление на логистични системи. Основният ѝ фокус е оптимизацията на материалните, информационните и енергийните потоци в рамките на производствени и обслужващи системи.

За разлика от класическата бизнес логистика, инженерната логистика разглежда логистичните процеси като технически системи, подлежащи на моделиране, анализ и оптимизация чрез математически и инженерни методи. Тя е тясно свързана с дисциплини като индустриално инженерство, системен анализ и оперативни изследвания [1].

1.2. Логистични процеси в производствените системи

Основните логистични процеси в една производствена система включват:

- снабдяване със суровини и материали;
- вътрешнозаводски транспорт;

- складиране и управление на запаси;
- разпределение на готовата продукция.

Логистичните процеси в производствените системи обхващат снабдяването със суровини, вътрешнозаводския транспорт, складирането и дистрибуцията на готовата продукция. Тези процеси са взаимосвързани и формират единна логистична система, в рамките на която се осъществяват материални и информационни потоци. Общата структура на логистичната система в производствено предприятие е представена на **Фигура 1.**



Фиг. 1. *Логистична система в производствено предприятие*

Всеки от тези процеси оказва влияние върху общите разходи, времето за изпълнение и качеството на продукцията. Инженерната логистика цели минимизиране на загубите и неефективностите чрез системен анализ на взаимовръзките между отделните процеси.

1.3. Системен подход и логистични вериги

Производствената логистика се разглежда като част от по-широка логистична верига. Системният подход изисква анализ не само на отделните елементи, но и на взаимодействията между тях. Това позволява идентифициране на „тесни места“ (bottlenecks) и вземане на оптимални инженерни решения [4].

2. Инженерни методи за оптимизация на логистичните процеси

2.1. Управление и оптимизация на запасите

Един от най-важните аспекти на инженерната логистика е управлението на запасите. Прекомерните запаси водят до увеличени разходи за складиране, докато недостатъчните – до прекъсвания в производството.

Широко използван е **моделът на икономичния размер на поръчката (EOQ)**, който определя оптималното количество за поръчка при минимални общи разходи:

$$EOQ = sqrt\left(\frac{2DS}{H}\right)$$

където: D – годишно търсене, S – разходи за поръчка, H – разходи за съхранение на единица запас.

Таблица 1. *Основни параметри при управление на запасите*

Показател	Обозначение	Единица
Годишно търсене	D	бр./год.
Разходи за поръчка	S	лв./поръчка
Разходи за съхранение	H	лв./бр./год.

2.2. Оптимизация на вътрешния транспорт и складовите системи

Вътрешнозаводският транспорт често е източник на значителни загуби на време и ресурси. Чрез инженерни методи като:

- линейно програмиране;
- симулационно моделиране;
- анализ на разположението (layout analysis),

може да се постигне съкращаване на транспортните разстояния и повишаване на производителността [3].

Вътрешнозаводската логистика обхваща управлението на материалните и информационните потоци между складовете и производствените звена. Типичният материален поток в една производствена система включва последователно преминаване на суровините през технологичните операции, като паралелно с това се осъществява и информационен поток за планиране и контрол. Схематичното представяне на тези потоци е показано на **Фигура 2.**

2.3. Използване на количествени и симулационни модели

Симулационното моделиране позволява анализ на сложни логистични системи при различни сценарии. То е особено полезно при:

- оценка на капацитет;
- анализ на натоварването;
- планиране на инвестиции в логистична инфраструктура.

3. Приложение и анализ на резултатите от инженерната логистика

3.1. Показатели за оценка на логистичната ефективност

За оценка на ефективността на логистичните решения се използват ключови показатели (KPI), като:

- логистични разходи като процент от оборота;
- средно време за изпълнение на поръчка;
- коефициент на обслужване.



Фиг. 2. *Материален поток във вътрешнозаводска логистична система*

Таблица 2. *Примерни логистични показатели преди и след оптимизация*

Показател	Преди оптимизация	След оптимизация
Логистични разходи (%)	18 %	12 %
Време за доставка (дни)	5	3
Ниво на обслужване (%)	92 %	98 %

3.2. Анализ на резултатите

Данните показват, че прилагането на инженерни методи води до значително подобрение на логистичната ефективност. Намаляването на разходите и времето за доставка оказва пряко влияние върху конкурентоспособността на предприятието.

3.3. Значение за инженерното проектиране

Интегрирането на логистичните изисквания още на етап проектиране на производствените системи е ключов фактор за дългосрочна ефективност. Инженерната логистика подпомага вземането на обосновани решения, базирани на количествен анализ и системно мислене [2].

Вземането на ефективни логистични решения изисква прилагане на структуриран инженерен подход, включващ анализ на данните, моделиране на системата и оценка на получените резултати. Процесът на оптимизация е итеративен и цели постигане на минимални разходи и максимално ниво на обслужване. Основните етапи на този процес са представени на **Фигура 3.**



Фиг. 3. *Процес на оптимизация на логистичните решения*

Заключение

Инженерната логистика представлява съществен елемент от управлението на съвременните производствени системи. Чрез прилагане на инженерни и математически методи е възможно значително подобрение на логистичните процеси, намаляване на разходите и повишаване на качеството на обслужване. Настоящата статия показва, че системният подход и използването на модели и показатели са ключови за успешната оптимизация на логистичните системи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management. Pearson Education, 2016.

[2] Pfohl, H.-C. Logistics Systems: Basics, Analysis and Design. Springer, 2018.

[3] Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. Kogan Page, 2017.

[4] Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. Operations Management. Pearson, 2019.

РАЗРАБОТВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА ДИАГНОСТИЦИРАНЕ НА ЗЕМЕДЕЛСКА ТЕХНИКА В СРЕДНО СТОПАНСТВО

Ангел М. Димитров, Андрей И. Богданов

EVALUATION AND PROPOSALS FOR DEVELOPING A DIAGNOSTIC SYSTEM FOR AGRICULTURAL MACHINERY IN A MEDIUM-SIZED FARM

Angel M. Dimitrov, Andrei I. Bogdanov

ABSTRACT: *This report evaluates the technical and economic problems associated with the maintenance of agricultural machinery in mid-sized farms and the benefits of implementing a diagnostic system. Using data from downtime, repair costs, and productivity, it analyzes the current inefficiencies and proposes predictive maintenance solutions through IoT and AI-based systems. The goal is to reduce expenses, minimize downtime, and improve the overall profitability of farmsial.*

KEYWORDS: *Agricultural machinery, Diagnostic system*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25ADA

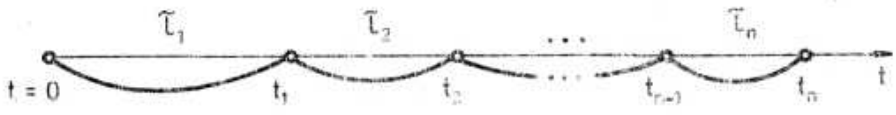
Въведение

Поддръжката на земеделска техника в средно големи стопанства се сблъсква с редица предизвикателства. Честите повреди, високите разходи за ремонти и загубите от престой на техниката намаляват производителността и рентабилността. В дипломната работа са представени сравнителни данни, които показват ясно колко по-ефективно е използването на съвременна система за диагностика.

Анализ на основните проблеми.

Моментът на преминаването от работоспособно в неработоспособно състояние на един технически обект се нарича отказ. Обратното преминаване (ако е възможно) се нарича възстановяване (регенерация) на техническия обект (изделие). Обектите, за които това е възможно, се наричат възстановими (ремонтируеми). Съвсем очевидно е, че не възстановяемите обекти работят (функционират) до първи отказ.

При този модел се предполага, че елементът започва да функционира в началния момент $t = 0$ и след случаен период от време τ настъпва отказ (фиг.1). След отказа елементът (обектът) се възстановява и започва отново да работи до следват отказ след случаен период от време τ_2.



Фиг. 1. *Модел на функциониране на възстановяеми обекти без отчитане на времето за възстановяване*

Този процес може да продължи неограничено. При това не е от значение по какъв начин е извършено възстановяването (чрез ремонт или чрез замяна на елемента с идентичен) и се приема, че времето за възстановяване е пренебрежимо малко спрямо случайния период от време (отработка) - τ_i Предполага се, че случайните величини (отработките) $\tau_1,\tau_2,\ldots..\tau_n$, са независими, имат еднакви закони на разпределение от вида:

$$Q0(t) = P(\tau n<t) \tag{1}$$

Важна характеристика на възстановяемите обекти е интензивността на изменение на потока на отказите (на функцията на възстановяване) *h(t)*. Тази характеристика е известна още като плътност на възстановяването или параметър на потока на отказите, означава се с *w(t)* и се определя от зависимостта:

$$h(t) = w(t) = H'(t) = \frac{dH}{dt} \tag{2}$$

Трябва да се отбележи, че между параметъра на потока от откази *w(t)* и интензивността на отказите *λ(t)* съществува съществена разлика. Физическият смисъл на *w(t)* представлява безусловната вероятност за отказ в изследвания безкрайно малък момент от време *dt* (при условие, че обектът е функционирал безотказно до този момент), а физическият смисъл на *λ(t)* е условната вероятност за отказ в същия момент от време. Поради това двете характеристики не бива да се смесват.

Съгласно (2) параметърът на потока на отказите е свързан с водещата функция по зависимостта:

$$H(t) = \int_0^t w(t)dt \tag{3}$$

Статистическата оценка на *w(t)* се определя по формулата:

$$\hat{w(t)} = \overset{*}{w}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N} r_i(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^{N} r_i(t)}{N\Delta t} \tag{4}$$

където:

r(t+ Δt) е броят на отказите в i-тия обект в края на интервала *Δt*.

Потокът от откази има някои интересни свойства, а именно:

При голяма продължителност на работа (период на отработка) средният брой на отказите за единица време се стреми към величина, реципрочна на средната отработка между отказите, т.е.:

$$\lim_{t\to\infty}\frac{H(t)}{t}=\frac{1}{\overline{T}} \tag{5}$$

Този израз се нарича теорема на възстановяването.

С течение на времето потокът на отказите става стационарен, т.е. неговите локални характеристики престават да зависят от положението на изследвания интервал върху временната ос. Това свойство се изразява от зависимостта:

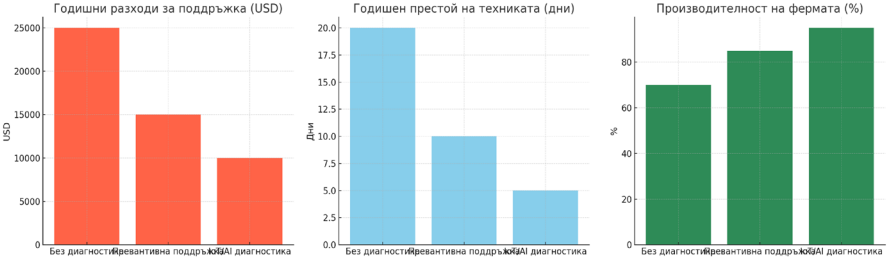
$$\lim_{t\to\infty} w(t)=\frac{1}{\overline{T}} \tag{6}$$

За сравнително голям период от време водещата функция може да се изчисли по следната приближена зависимост:

$$H(t)\approx\frac{1}{\overline{T}}+\frac{\sigma^2}{2\overline{T}^2}-\frac{1}{2} \tag{7}$$

Тези свойства се използват при изследването на надеждностни модели.

Липсата на модерна система за диагностика на земеделската техника води до сериозни икономически загуби. Фигура 2 илюстрират ключовите негативни ефекти от остарелите методи на поддръжка.



Фиг. 2. *Сравнителен анализ на методите за поддръжка на земеделска техника*

На база на представените данни се препоръчва внедряване на IoT-базирана система за диагностика с възможности за предиктивна поддръжка. Това би довело до:

- 60% намаление на времето за престой
- 40% по-ниски разходи за ремонти
- 20% повишена производителност
- 70% подобрена рентабилност

Внедряването на такава система би оптимизирало работата на земеделските стопанства и би подобрило устойчивостта и конкурентоспособността им в дългосрочен план

Заключение

Докладът показва, че проблемите, свързани с разходите, престоя и производителността, могат да бъдат значително редуцирани чрез интелигентни технологии. Системата за диагностика е инвестиция, която носи реална възвръщаемост и устойчиво развитие.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гиндев Е. Увод в теорията и практиката на надеждността. София 2000

[2] Гиндев Е. надеждност и ефективност на техническите системи и изделия. София 1999 г.

[3] Anisvimov. V., asymptotic analisis of reliability for swiching systems in light and heavy traffic conditions, recent advances in reliability theory. Berlin 2000

[4] Birolini A., Reliability Engineering Theory and Practice, Zurich 2017

[5] Chakravarthi A., A comprehensive framework for predictive modeling of negative bias temperature instability", Proc. Int. Rel. Phys. Symp., 2004,

[6] Sivazlian, B.D. and Wang, K.H. System characteristics and economic analysis of the G/G/R machine repair problem with warm standbys using diffusion approximation. Microelectronics & Reliability 2009, 29, 5: 829–848.

УПРАВЛЕНИЕ НА ЛОГИСТИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ ПРИ ТЪРГОВИЯ С ГОРИВА

Асен А. Асенов

MANAGEMENT OF LOGISTICS PROCESSES IN FUEL TRADE

Asen A. Asenov

ABSTRACT: *Logistics is a modern management tool with a key role in the effective operation of business processes, especially in energy and strategic sectors such as fuel trade. Global supply chains, geopolitical factors, environmental requirements, and digital transformation present numerous challenges and opportunities for companies in this field. In fuel trading, logistics is highly specialized, with an emphasis on safety, regulatory compliance, and efficiency. Continuous traceability, quality control, and reliability of deliveries are essential.*

KEYWORDS: *Supply chain, Global supply chains, Fuel trading*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25AAA

Въведение

Логистиката е съвременен управленски инструмент с ключова роля в ефективното функциониране на бизнес процесите, особено в енергийните и стратегически сектори като търговията с горива. Глобалните вериги на доставки, геополитическите фактори, екологичните изисквания и дигиталната трансформация поставят пред фирмите в тази сфера редица предизвикателства и възможности. При търговията с горива тя е високо специализирана, с акцент върху безопасността, регулаторната съвместимост и ефективността. Необходима е непрекъсната проследимост, контрол на качеството и надеждност на доставките.

Оценка на логистиката на „Лукойл България“

Темата за управлението на логистичните процеси при търговия с горива е от особено значение в условията на съвременната енергийна и транспортна индустрия. Горивата, като стратегически ресурс, изискват надеждни и ефективни логистични решения за осигуряване на тяхната доставка, съхранение и дистрибуция.

В настоящият доклад е анализирана конкретна фирма ПСБ Аспарухово, която е част от „ЛУКОЙЛ БЪЛГАРИЯ“ ЕООД – една от най-големите енергийни компании в страната. Дружеството е с интегрирана вертикална структура – от производство до доставка в бензиностанции. Логистичната и система обхваща всички етапи на веригата на доставки - добив на суров нефт;

преработка/производство; транспорт; складиране; дистрибуция; крайни потребители.

През последните години се срещат няколко сериозни предизвикателства в дружеството, особено във връзка с геополитическите промени и регулаторните решения:

— Зависимост от руски суров петрол - решението за отказ от внос на руски нефт създава рискове за стабилността на работата на рафинерията „Лукойл Нефтохим Бургас“. Пристанищата в България имат ограничени възможности за прием на алтернативни доставки, което затруднява прехода към други източници.
— Проблеми с тръбопроводната инфраструктура – поради амортизиране на тръбопроводите, днес горивата се транспортират до данъчните складове с авто и ж.п. цистерни, което логистично е по-трудно и по-скъпо.
— Регулаторен натиск и проверки - комисията за защита на конкуренцията (КЗК) е започнала производство срещу Лукойл за евентуални нарушения, включително ограничаване на вноса и търговията на едро. Това създава допълнителна несигурност в логистичните процеси.

Препоръките за подобрение, могат да бъдат формулирани по следния начин:

— Диверсификация на доставките – включване на допълнителни доставчици и маршрути.
— Инвестиции в модернизация – обновяване на складови и тръбопроводни системи за по-ефективно управление и контрол.
— Управление на риска – изграждане на резервна инфраструктура и оперативна готовност при санкции или политически промени.
— По-добра прозрачност при логистични договори – за да се минимизират антимонополни рискове.

Лукойл-България“ се справя с конкуренцията в сектора чрез комбинация от инфраструктурно превъзходство, ценова стратегия и контрол върху ключови активи, но това води и до сериозни регулаторни предизвикателства.

Предимства пред конкурентите.

— Контрол върху данъчни складове и пристанища – Лукойл стопанисва стратегически обекти като пристанище „Росенец“, което му дава предимство при вноса и съхранението на горива.
— Собствена рафинерия – „Лукойл Нефтохим Бургас“ осигурява директен достъп до преработени продукти, което намалява зависимостта от външни доставчици.
— Ценова преса – компанията е обвинявана, че предлага еднакви цени на едро и дребно, което затруднява конкурентите да реализират печалба.

Регулаторни действия.

— Санкции от КЗК – наложени са глоби за над 262 млн. лв. за злоупотреба с господстващо положение и ограничаване на достъпа до пазара.
— Обжалване пред съда – Лукойл оспорва решенията на КЗК, като делата са в ход и включват запитвания към Съда на ЕС.

Влияние върху пазара.

— Ограничен достъп за конкуренти – други търговци трудно навлизат на пазара поради високите бариери и липса на алтернативни складови мощности.
— Риск от монополизация – при елиминиране на конкуренцията, Лукойл би могъл да диктува цените, което е опасно за потребителите в дългосрочен план.

ERP системите на Лукойл.

Лукойл като голяма международна компания, използва сложни ERP системи за управление на ресурсите, но въпреки това среща някои слабости и предизвикателства при внедряването и поддръжката им.

Основни слабости:

— Продължителен период на внедряване - внедряването на ERP системата в „Лукойл Технолоджи Сервисиз България“ е отнело над година и половина, като специалисти са били откъснати от основната си работа за дълъг период.
— Високи оперативни разходи - ERP системата извършва над 200 000 операции месечно, което изисква сериозни ресурси за поддръжка, обучение и оптимизация.
— Липса на единен център за информация - при внедряването е отчетена липса на централизирана база с данни за бизнес процесите, което води до затруднения в координацията между отделите.
— Сложна интеграция с други системи - ERP системите често се сблъскват с трудности при интеграция с външни платформи – CRM, BI, складови системи. Това води до високи разходи за персонализиране и поддръжка.
— Скрити разходи след внедряване - персонализирането на ERP според нуждите на Лукойл води до допълнителни разходи, които не винаги са предвидени първоначално.
— Зависимост от обучен персонал - без адекватно обучение, служителите не могат да използват пълния потенциал на системата, което води до ниска ефективност и забавяне на процесите.

За да преодолее слабостите в ERP системите си, Лукойл предприема няколко стратегически стъпки, които целят по-висока ефективност, по-добра интеграция и намаляване на разходите:

— Преминаване към SAP S/4 HANA - Лукойл внедрява единна интегрирана ERP платформа, която обединява количествени и финансови данни от всички процеси. Това елиминира нуждата от множество отделни системи и подобрява управленския контрол.
— Унификация на бизнес процесите - компанията работи по стандартизиране на бизнес моделите и процесите, което улеснява внедряването и поддръжката на ERP системата. Това намалява зависимостта от индивидуални решения и персонализирани конфигурации.
— Инвестиции в обучение и партньорства - компанията залага на обучение на персонала и сътрудничество с водещи ИТ доставчици, за да гарантира, че служителите могат да използват пълния потенциал на системата и да се справят с технологичните промени.

Заключение

Логистиката на горива е сложна, високорискова и строго регулирана дейност, в която ефективността и сигурността са от ключово значение.

Управлението на логистичните процеси в търговията с горива изисква стратегическо мислене, технологично обновяване и непрекъснато адаптиране към пазарните, екологичните и регулаторните промени.

Логистичната система на „Лукойл България“ е мащабна и ключова за енергийния сектор на страната, но е изправена пред сложни кредиторски, регулаторни и инфраструктурни предизвикателства. Трансформацията на доставките, адаптацията към новите условия и инвестициите в диверсификация са жизнено важни за устойчива и сигурна логистична мрежа.

ПСБ Аспарухово представлява силна основа за развитие и модернизация в този сектор. С прилагането на предложените мерки може значително да се повиши оперативната ефективност, конкурентоспособността и устойчивостта на базата и цялостната логистична мрежа на компанията.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ангелов, И. (2019). Логистика и управление на веригата за доставки. Икономически университет - Варна ISBN 9789546444547

[2] Богданов А., Приложение на метаевристични алгоритми в логистиката. Сборник научни трудове - Научна конференция с международно участие ”MATTEX 2022”, ISSN: 1314-3921, т. 2, 2022 стр 286 –291

[3] Георгиев, И. (2019). Индустриална логистика. Икономически университет – Варна.

[4] Димитров, П., Логистиката в България, сп. Логистика, бр. 10, 2004

[5] Bogdanov A., The Shortest Path Problem in Logistics, Scientific and Applied Research International Journal vol. 11, 2017, ISSN 1314-6289 pp 68-72

[6] Y. Yankova-Yordanova, Analysis Of The Advantages And Disadvantages Of Outsourcing. Journal scientific and applied research, USA, EBSCO, 2021,vol. 21, pp. 87-93, ISSN 1314-6289

[7] Yankova-Yordanova, Y., System For Transport And Spedition Activity Road Transport. SocioBrains, www.sociobrains.com, Publ.: Veselina Nikolaeva Ilieva, Bulgaria, Issue 69, May 2020, pp. 126-133, ISSN 2367-5721

[8] Yankova-Yordanova, Y., Information Logistics In Support Of The Modern Enterprise. SocioBrains, www.sociobrains.com, Publ.: Veselina Nikolaeva Ilieva, Bulgaria, Issue 62, October 2019, pp. 70-76, ISSN 2367-5721, (online),

ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИЯ КОНТРОЛ ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА АЛУМИНИЕВИ ДЕТАЙЛИ

Калоян Х. Момчев

APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING IN THE PRODUCTION OF ALUMINUM PARTS

Kaloyan H. Momchev

ABSTRACT: *Theoretical analysis of non-destructive testing methods applicable to the control of aluminum parts in their production cycle.*

KEYWORDS: *Non-destructive testing, Aluminium alloy, Quality control, Incoming control, Production control, Outgoing control*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25KHM

Въведение

Безразрушителният контрол (БРК), известен още като безразрушителна оценка (NDE), е систематичен процес за оценка и проверка на материали или компоненти, без да се променят техните първоначални качества или да им се причиняват повреди. Той е критичен за осигуряване на безопасността, надеждността и качеството на продуктите в индустрии като автомобилостроенето, аерокосмическата индустрия, енергетиката и строителството. Ранното откриване на дефекти е ключово за поддържане на репутацията, удовлетвореността на клиентите и рентабилността. Секторът на БРК се развива значително под влиянието на Индустрия 4.0, интегрирайки автоматизация, Интернет на нещата (IoT), изкуствен интелект (ИИ) и напредък в сензорните технологии.

Алуминиевите сплави са широко използвани поради лекотата, високата якост, издръжливостта и отличната устойчивост на корозия. Въпреки това, производството на алуминиеви детайли може да доведе до различни скрити дефекти, които компрометират структурната цялост и безопасността. В критични приложения, където безопасността е от първостепенно значение, ролята на БРК е стратегическа за минимизиране на риска и оптимизиране на дизайна.

Безразрушителният контрол е интегриран на ключови етапи от жизнения цикъл на алуминиевите детайли – от входящия контрол на суровините, през различните фази на производството, до финалната проверка преди експедиция.

Същинска част

Входящият контрол е първата и най-ефективна линия на защита срещу дефекти в крайния продукт. Откриването на дефекти на този ранен етап е несравнимо по-евтино, отколкото отстраняването им по-късно. Той осигурява

съответствие с индустриалните стандарти и клиентските спецификации, трансформирайки контрола на качеството от краен в превантивен.

Типични дефекти, които могат да бъдат открити във входящите алуминиеви суровини и полуфабрикати, включват:

— В слитъци и блокове: Порьозност, шупли, включвания, всмукнатини, сегрегация, студени съединения.
— В листове: Пукнатини, порьозност, включвания, изтъняване на стената.
— В профили (екструдирани): Повърхностни дефекти (драскотини, мехури), размерни неточности, вътрешни дефекти (порьозност, включвания, пукнатини).

За входящ контрол се прилагат различни методи за БРК, като изборът зависи от типа материал и очакваните дефекти. Основно те биват:

— Визуален контрол (ВК): Основен, бърз и икономичен метод за откриване на видими повърхностни дефекти.
— Ултразвуков контрол (УЗК): Използва високочестотни звукови вълни за откриване на вътрешни дефекти като пукнатини, порьозност и включвания. Отличен е за вътрешни дефекти в слитъци.
— Вихровотоков контрол (ВТК): Използва електромагнитна индукция за откриване на повърхностни и подповърхностни дефекти в проводими материали. Подходящ е за повърхностни пукнатини в тънки листове.
— Радиографичен контрол (РК): Използва рентгенови или гама-лъчи за откриване на вътрешни обемни дефекти като порьозност и шупли.
— Капилярен контрол (КК): Открива повърхностни и проходни дефекти чрез капилярно действие на проникваща течност.
— Термографски контрол (ТК): Използва инфрачервени камери за засичане на температурни аномалии, свързани с дефекти.

Входящият контрол трябва да спазва установени стандарти и изисквания, като ISO 9001, ASTM B548-03, ISO/IEC 17025 и ASTM E155. Стриктната документация и сертифицирането на персонала са ключови за проследимост и намаляване на риска.

Маниполация и приложим метод за контрол:

— БРК при коване на алуминиеви детайли: Коването подобрява механичните свойства, но може да доведе до пукнатини, включвания, повърхностно окисляване и остатъчни напрежения. Приложими методи са УЗК (особено PAUT), КК, РК, ВК и методи за измерване на остатъчни напрежения (XRD, ND).
— БРК при заваряване на алуминиеви съединения: Заварените съединения са критични зони, податливи на шлакови включвания, порьозност, пукнатини, непровар и други. За контрол се използват УЗК (PAUT, TOFD), РК, ВК, КК, ВТК и Акустична емисия (АЕ).
— БРК при термична обработка на алуминиеви детайли: Неправилната термична обработка може да доведе до изменение на свойствата,

изкривявания, пукнатини от закаляване и остатъчни напрежения. Приложими методи са ВТК, УЗК, АЕ, КК, XRD/ND и ТК.

— БРК при механична обработка на алуминиеви детайли: Механичната обработка цели постигане на крайните размери и повърхностно качество, но може да причини драскотини, размерни неточности, микроструктурни повреди и остатъчни напрежения. Използват се ВК, измерване на размери (CMM, лазерно сканиране), РК, УЗК, машинно зрение, ВТК и КК.

Значение, за да се гарантира, че до клиента няма да достигнат несъответстващи продукти. Този етап е последната проверка за качество и безопасност.

За финална инспекция на алуминиеви компоненти се прилагат различни БРК техники:

— Рентгенов контрол (РК) и Ултразвуков контрол (УЗК): Използват се за откриване на вътрешни дефекти като порьозност и включвания, без да се увреждат детайлът. Това позволява ранно откриване на проблеми и предприемане на коригиращи действия преди частите да достигнат до клиента, осигурявайки по-висока надеждност и безопасност.

— Визуален контрол (ВК): Остава важен компонент за проверка на повърхностното състояние и видими дефекти.

— Машинно зрение: Автоматизирани системи с машинно зрение и дълбоко обучение се използват за прецизно и ефективно откриване на дефекти като стружки и за проверка на отвори в алуминиеви отливки, намалявайки умората на оператора и подобрявайки точността.

Целта на финалния контрол е да се осигури, че всички компоненти отговарят на строгите стандарти за качество и безопасност, преди да бъдат доставени.

Заключение

Безразрушителният контрол е фундаментален за осигуряване на качеството, надеждността и безопасността на алуминиевите детайли през целия им производствен цикъл. От критичния входящ контрол на суровините, през прецизните проверки по време на производствените процеси като ковене, заваряване, термична и механична обработка, до изчерпателния финален контрол, БРК играе незаменима роля. Прилагането на подходящи методи като УЗК, ВТК, РК, КК, ВК, ТК, АЕ, както и съвременни техники като PAUT, CT и машинно зрение, позволява ефективно откриване на широк спектър от дефекти. Интеграцията на БРК на всеки етап не само минимизира рисковете и оптимизира дизайна, но и осигурява съответствие с индустриалните стандарти, предотвратявайки достигането на несъответстващи продукти до крайния потребител. Продължаващото развитие на БРК, подкрепено от автоматизацията и изкуствения интелект, ще продължи да повишава ефективността и прецизността на тези жизненоважни процеси.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Богданов А., Коджейков Р., Ганев В., Оценка техническото състояние на жироскопичните измервателни средства, XII – ти научен симпозиум с международно участие – Метрология и метрологично осигуряване, Созопол 2002, ISBN 954-438-229-4 стр. 25- 28

[2] Богданов А., Пеева Т., Прогнозиране нарастването на сумарната грешка при жироскопични измервателни средства, MATTEX 2024, ISSN: 1314-3921, т. 2, 2024

[3] Богданов А., Калев К., Ганев В., Изследване инерционните свойства на на манометър с еластичен чувствителен елемент, XX – ти научен симпозиум с международно участие – Метрология и метрологично осигуряване, Созопол 2010, ISSN 1313-9126 стр. 133-137

[4] Богданов А., Калев К., Ганев В., Влияние на измерваните параметри на сложни системи върху грешката на техните резултати, XIX – ти научен симпозиум с международно участие – Метрология и метрологично осигуряване, Созопол 2009, ISSN 1313-9126 стр. 81-85

[5] Claudia D. Rocha, Germano Veiga, Luis F. Rocha, Manuel F. Silva, Rui Nascimento, Tony Ferreira. Journal of Inteligent & Robotic Sistem, April 2025. Quality Inspection in Casting Aluminum Parts: A Machine Vision System for Filings Detection and Hole Inspection. https://www.researchgate.net/publication/39119609 2Quality_Inspection_in_Casting_Aluminum_Parts_A_Machine_Vision_System _for_Filings_Detection_and_Hole_Inspection

[6] Neway precision works, Common Post-Processing Processes for Aluminum Die Casting. < https://www.newayprecision.com/services/aluminum-die-casting/faq-common-post-processing-processes-for-aluminum-die-casting

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЛОГИСТИЧНИТЕ ОПЕРАЦИИ

Никол Милушева

MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF LOGISTICS OPERATIONS

Nikol Milusheva

ABSTRACT: *In this report, a mathematical model for assessing the efficiency of logistics operations in the design of a distribution center is developed. The model combines costs, time, energy consumption and distribution efficiency into a common comparison index - KL. The aim of the model is to optimize logistics processes in terms of costs, time, energy consumption and distribution efficiency. The application of the model is illustrated through a comparative analysis between two logistics configurations in Bulgaria and Germany.*

KEYWORDS: *Logistics center, Comparative index (KL), Logistics costs (PL), Logistics operation time (TL), Distribution costs (DL), Energy consumption (CL)*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25NIL

Увод

Математическото моделиране е основен инструмент в съвременната логистика, който позволява обективна оценка и оптимизация на ключовитепроцеси при проектиране на дистрибуционни центрове. В рамките на настоящия доклад е разработен интегриран математически модел, който оценява ефективността на логистичните услуги чрез четири основни компонента:

a. Разходи (PL)
b. Време (TL)
c. Дистрибуционни операции (DL)
d. Енергийно потребление (CL)

Целта на модела е да подпомогне процеса по избор на оптимална логистична структура чрез количествени показатели, които се обединяват в сравнителен индекс на логистични услуги (KL). Моделът използва теглови коефициенти, за да отрази спецификата на логистичната мрежа, и прилага теорията на графите за моделиране и оптимизация на транспортните и складовите връзки.

Този подход предоставя възможност за изследване на различни сценарии и вземане на стратегически решения, базирани на реални данни и

измерими резултати. Разработеният модел е приложен в сравнение между две логистични системи (България и Германия), с цел доказване на предимствата на централизирания дистрибуционен център.

Същинска част

1. Формула на индекса KL

С цел количествена оценка и оптимизация на процесите в логистичната мрежа е изграден мултифакторен математиечески модел, базиран на съставянето на сравнителен индекс на логистичните услуги (KL). Индексът обединява четири ключови параметъра:

a. PL- ценова функция (стойност на логистичните операции)
b. TL- времева функция (време за извършване на услугите)
c. DL- разходи за дистрибуция и преадресиране
d. CL- енергийно потребление

Формула на индекса:

$$KL = f(PL,TL,DL,CL)$$

Тези функции се изчисляват чрез конкретни уравнения, включващи разходи, обеми на работа и теглови коефициенти.

Например:

$$PL = \frac{1}{\eta P} * \Sigma (P_{TL}+P_{TA}+P_{TR}+P_{TT}) * N_{TU}, \text{ където}$$

- P_{TL}- разходи за логистични операции
- N_{TU}- брой обслужени единици
- ηP- корелационен коефициент

Аналогично се дефинират и функциите за време (TL), дистрибуционни разходи (DL) и енергийна консумация (CL), като всяка от тях отчита влияещи фактори и операционни параметри.

За моделиране на логистичната мрежа е използвана теория на графите, където:

a. Върхове (V)- представляват логистични възли (терминали, складове)
b. Ръбове (E)- логистични връзки между тях.

Мрежата се изразява като графово дърво:

$$G = (V,E)$$

Прилага се оптимизационна функция:

$$F(T) = \sum_{e \in E'} f(e)$$

Целта е да се минимизира общата стойност на логистичните параметри (време, разходи, енергия) чрез избор на оптимален маршрут и логистична конфигурация.

Оптималният маршрут се намира чрез минимизиране на целевата функция F(T), която обединява времето, разходите и енергийното потребление. Приложението на графовата структура позволява визуализиране и оптимизация на маршрутите.

Моделът е приложен за сравнителна оценка на две логистични системи- в България и Германия. При използване на централизиран виртуален логистичен център се наблюдава:

a. 20-25%- намаление на логистичните разходи

b. 30-40%- съкращаване на времето за доставки

c. До 26% по-ниско енергийно потребление

2. Заключение на анализа

Математическият модел доказва своята приложимост при избор на логистична стратегия и потвърждава, че добре проектиран дистрибуционен център с използване на оптимизационни методи може значително да повиши ефективността на цялостната верига на доставки.

Заключение

Разработеният математически модел за оценка на логистичните услуги в рамките на дистрибуционния център представлява ефективен инструмент за количествен анализ и вземане на стратегически решения. Чрез въвеждане на сравнителен индекс KL, който обединява разходи, време, дистрибуционна ефективност и енергийно потребление, се осигурява възможност за цялостна и обективна оценка на различни логистични конфигурации.

Приложението на теорията на графите в модела позволява оптимизация на логистичната мрежа чрез определяне на най-ефективните маршрути и комбинации от логистични възли. Резултатите от сравнителния анализ между традиционна логистична система и виртуален логистичен център ясно показват предимствата на централизираната и координираната логистична структура по отношение на икономия на средства, време и ресурси.

Моделът е приложим в реални условия и може да бъде изпползван като основа при проектиране, развитие и усъвършенстване на логистични центрове в

различни индустрии. Той предоставя надеждно средство за планиране, адаптиране и оптимизиране на веригите на доставки в съвременната бизнес среда.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Богданов А., Калев К., Използване на размита логика за управление на логистични системи, Defense Technology Forum - International Scientific Conference Shumen 2024 ISSN 2367-7902

[2] Василева Л. Дистрибуционна политика, издателство:„Тракия-М“, 2002г.

[3] Тодоров Ф., Проектиране на логистични системи Издателски комплекс-2012г.

[4] Bogdanov A., Method For Facilities Location And Warehouse Layout Design, Journal Scientific and Applied Research International Journal vol. 9, 2016, ISSN 1314-6289 pp 17-20

[5] Yankova-Yordanova, Y., Structure Optimization And The Elements Of The Management Systems. SocioBrains, www.sociobrains.com, Issue 65, January 2020, pp. 165-171, ISSN 2367-5721

[6] Yankova-Yordanova, Y., Information Logistics In Support Of The Modern Enterprise. SocioBrains, www.sociobrains.com, Issue 62, October 2019, pp. 70-76, ISSN 2367-5721

ОЦЕНКА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ВЕРИГАТА ЗА ДОСТАВКИ НА „ЦБА“ ЕАД

Тонка С. Ганчева

EVALUATION AND PROPOSALS FOR IMPROVING THE SUPPLY CHAIN OF CBA EAD

Tonka S. Gancheva

ABSTRACT: *This study evaluates the international supply chain of CBA EAD, a leading Bulgarian retailer of fast-moving consumer goods, and proposes strategic improvements to enhance its efficiency, sustainability, and competitiveness. The analysis focuses on optimizing transportation routes, adopting advanced technologies, and transitioning to sustainable logistics practices. The proposed measures aim to reduce costs, improve customer satisfaction, and minimize environmental impact, aligning with modern global supply chain trends.*

KEYWORDS: *Supply chain, Transportation routes*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25TSG

Въведение

В условията на глобализирана икономика и нарастваща конкуренция, ефективността на веригите за доставки е от решаващо значение за успеха на търговските компании. За „ЦБА“ ЕАД, водеща българска търговска верига в сектора на бързооборотните стоки, оптимизацията на международните логистични процеси е ключов фактор за поддържане на конкурентоспособността. Настоящата статия анализира текущото състояние на логистичната система на компанията и предлага конкретни мерки за подобрение, фокусирани върху три основни направления: оптимизация на транспортните маршрути, внедряване на нови технологии и преминаване към устойчиви логистични практики. Целта е да се постигне намаляване на разходите, повишаване на удовлетвореността на клиентите и подобряване на екологичния отпечатък.

Оценка на ефективността на логистичната система

Логистичната система на „ЦБА“ ЕАД е организирана около полуцентрализиран модел, при който регионалните звена имат известна автономност в управлението на доставките, а централата координира договорите с доставчици. Този подход осигурява гъвкавост, но води до фрагментация и по-високи разходи, особено при международните доставки. Използваният софтуер, SM Manager, разработен от SIS Technology, поддържа основни функции за управление на заявки и наличности, но липсата на интегрирана ERP система ограничава възможностите за автоматизация и анали

Оценката на логистичната система се основава на три ключови критерия: време за доставка, разходи и качество на обслужването. Времето за доставка е критично за бързооборотните стоки, където забавянията могат да доведат до загуби, особено при продукти с кратък срок на годност. „ЦБА“ ЕАД поддържа стабилни отношения с доставчици, но ръчните процеси и липсата на проследяване в реално време водят до периодични забавяния. Разходите са повлияни от неефективно маршрутно планиране и свръхзапаси, което увеличава разходите за транспорт и съхранение. Качеството на обслужването страда от ограничената видимост на запасите, което води до недостиг на продукти или грешки в доставките.

В сравнение с международни лидери като Lidl и Tesco, които използват интегрирани ERP системи и автоматизирани процеси, „ЦБА“ ЕАД изостава в технологично отношение. Водещите компании прилагат централизирано управление, реално-времево проследяване и устойчиви практики, което им позволява да минимизират разходите и да реагират бързо на пазарните промени. Липсата на подобни системи в „ЦБА“ води до неефективност и пропуснати възможности за оптимизация.

За да се повиши конкурентоспособността на „ЦБА“ ЕАД, се предлагат следните мерки за подобрение на международната логистична стратегия:

Оптимизацията на маршрутите е от съществено значение за намаляване на разходите и времето за доставка. Чрез използване на географски информационни системи (GIS) и алгоритми за планиране, компанията може да избегне празен пробег и да консолидира товарите. Дигиталното проследяване в реално време ще позволи бързо пренасочване при смущения, като например митнически забавяния или природни бедствия. Интеграцията на SM Manager с външни модули за логистична визуализация ще подобри управлението на международните доставки.

Технологичната модернизация е ключова за повишаване на ефективността. Въвеждането на системи за прогнозиране на търсенето, базирани на изкуствен интелект, ще подобри планирането на запасите и ще намали свръхзапасите. Автоматизацията на складовите процеси чрез системи за управление на складове (WMS) и RFID технологии ще увеличи точността и скоростта на обработка на поръчките. Електронният обмен на данни (EDI) ще улесни комуникацията с доставчици, намалявайки ръчните грешки.

Устойчивата логистика е стратегически приоритет, особено в контекста на засилващите се екологични регулации. „ЦБА“ ЕАД може да намали въглеродния си отпечатък чрез използване на енергоефективни превозни средства, оптимизиране на маршрутите и преминаване към рециклируеми опаковки. Въвеждането на политика за устойчиво снабдяване ще засили партньорствата с доставчици, които спазват екологични стандарти, и ще подобри репутацията на компанията.

Очаквани резултати

Предложените мерки ще доведат до следните резултати:

1.Намаляване на разходите: Оптимизацията на маршрутите и автоматизацията ще редуцират транспортните и складовите разходи, позволявайки реинвестиране в иновации.

2.Повишаване на ефективността и удовлетвореността на клиентите: По-бързото и точно обслужване ще увеличи лоялността на клиентите и ще укрепи пазарната позиция на „ЦБА“.

3.Подобряване на екологичния отпечатък: Устойчивите практики ще намалят емисиите и ще позиционират компанията като социално отговорна.

Заключение

Настоящото изследване подчертава необходимостта от стратегически подобрения в международната логистична верига на „ЦБА“ ЕАД. Чрез оптимизация на маршрутите, внедряване на технологии и устойчиви практики, компанията може да постигне по- висока ефективност, да намали разходите и да укрепи позицията си на пазара. Тези мерки ще позволят на „ЦБА“ ЕАД да отговори на съвременните предизвикателства и да се адаптира към глобалните тенденции в управлението на веригите за доставки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ангелов, И. (2019). Логистика и управление на веригата за доставки. Икономически университет - Варна ISBN 9789546444547

[2] Богданов А., Приложение на метаевристични алгоритми в логистиката. Сборник научни трудове - Научна конференция с международно участие ”MATTEX 2022”, ISSN: 1314-3921, т. 2, 2022 стр 286 –291

[3] Bogdanov A., Application Of Heuristic Algorithms In Logistics Journal scientific and applied research, vol. 27, 2024, ISSN 2815-4622

[4] Bogdanov A., A New Approach To Storage Capacity Increase, International Scientific Conference - Shumen 2019 ISSN 2367-7902 pp 297 – 300

[5] Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. Pearson.

[6] Y. Yankova-Yordanova, Analysis Of The Advantages And Disadvantages Of Outsourcing. Journal scientific and applied research, USA, EBSCO, 2021,vol. 21, pp. 87-93, ISSN 1314-6289

[7] Yankova-Yordanova, Y., System for transport and spedition activity road transport. SocioBrains, www.sociobrains.com, Publ.: Veselina Nikolaeva Ilieva, Bulgaria, Issue 69, May 2020, pp. 126-133, ISSN 2367-5721

[8] https://www.consilium.europa.eu/bg/policies/european-green-deal/

[9] https://cbabg.com/%D0%B7%D0%B0-%D0%BD%D0%B0%D1%81.html

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ НА ПОЖАРИ, ПРИЧИНЕНИ ВСЛЕДСТВИЕ НА МЪЛНИЯ

Кристина К. Янчева

RESEARCH ON METHODS FOR MAPPING FIRES CAUSED BY LIGHTNING

Kristina K. Yancheva

ABSTRACT: *Lightning-caused wildfires represent a significant portion of natural fires and pose serious challenges for fire management and risk assessment. This paper reviews and analyzes contemporary methods for mapping lightning-ignited fires, focusing on satellite remote sensing, lightning detection systems, geographic information systems, and statistical modeling approaches. The advantages and limitations of each method are discussed, emphasizing the importance of integrated frameworks for accurate fire detection and mapping. The study aims to contribute to the scientific understanding of lightning-caused fire mapping and to support future applied research in fire safety and risk management.*

KEYWORDS: *Lightning-caused fires, Mapping, Remote sensing, GIS, Fire risk assessment*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25KKY

Въведение

Горските пожари, причинени от природни фактори, и по-специално от мълнии, представляват сериозно предизвикателство за системите за управление на риска и противопожарната безопасност. Тези пожари често възникват в труднодостъпни и слабо населени райони, което затруднява тяхното своевременно откриване и овладяване. В условията на климатични промени, повишаване на средните температури и засушаване, честотата и интензивността на мълниеносно предизвиканите пожари нарастват, което налага усъвършенстване на методите за тяхното наблюдение, анализ и картографирне.

Картографирането на пожари, причинени от мълния е ключов момент в системите за ранно предупреждение, управление на риска и планиране на противопожарни дейности. Посредством прилагането на съвременни геоинформационни системи (ГИС), дистанционни изследвания и данни от системи за детекция на мълнии, е възможно да се изгради цялостна картина на пространственото и времевото разпределение на тези пожари.

Целта на настоящия доклад е да изследва и анализира основните методи за картографиране на пожари, възникнали вследствие на мълния, като се

разгледат техните принципи, предимства, ограничения и приложимост в практиката.

1. Методология на изследването

Настоящото изследване е с обзорно-аналитичнен характе и се основава на систематичен преглед на научни публикации, доклади и приложни разработки в областта на дистанционните изследвания, геоинформационните системи и противопожарната беопасност. Използван е сравнителен анализ на основните методи за картографиране на пожари, причинени от мълния, като са отчетени техните характеристики, точност, пространствена и времева резолюция и приложимост.

2. Същност на пожарите, причинени от мълния

Пожарите, предизвикани от мълнии, възникват при директен удар на мълния върху суха растителност, дървета или горими материали на земната повърхност. В много случаи запалването не води до незабавен видим пожар, а се развива т.нар. „скрито тлеене", което може да премине в активен пожар след часове или дори дни при подходящи метеорологични условия.[3]

Основните фактори, влияещи върху възникването на пожар след удар на мълния, включват:

- влажността на горивния материал;
- видът и плътността на растителността;
- температурата на въздуха и скоростта на вятъра;
- честотата и енергията на мълниеносните удари.

Поради тези особености, идентифицирането и картографирането на пожари от мълнии изисква комплексен подход, който съчетава различни източници на данни.

3. Методи за картографиране на пожари, причинени от мълния

Основните методи включват използване на спътникови данни от сензори като MODIS и VIIRS, които позволяват откриване на активни пожари чрез идентифициране на термични аномалии. Системите за детекция на мълнии предоставят информация за времето и мястото на мълниеносните удари, което позволява установяване на вероятна причинно-следствена връзка между мълнията и пожара. Геоинформационните системи обединяват тези данни и позволяват пространствен анализ и създаване на тематични карти[1].

- Картографиране чрез спътникови данни и дистанционни изследвания

Един от най-широко използваните методи за откриване и картографиране на пожари е чрез спътникови наблюдения. Спътникови сензори като MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) и VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) предоставят данни за т.нар. „горещи точки", които показват наличие на повишена температура на земната повърхност[2]. Тези данни позволяват, да се идентифицират активни пожари, да се проследи тяхното разпространение, както и да се изготвят карти на изгорелите площи.

Предимство на спътниковите методи е тяхното широко пространствено покритие и възможността за наблюдение на отдалечени райони. Основните ограничения са свързани с по-ниската пространствена резолюция, закъснение във времето и затруднено откриване при облачно покритие[6].

• Използване на системи за детекция на мълнии

Системите за детекция на мълнии предоставят данни за местоположението, времето и интензитета на мълниеносните удари. Те могат да бъдат наземни или спътникови и са ключов елемент при определяне на потенциалния произход на пожара.

Чрез картографиране на честотата и плътността на мълниите се създават карти на риск от възникване на пожари. Когато тези данни се комбинират с информация за пожари, открити от спътници, може да се установи причинно-следствена връзка между конкретен удар на мълния и възникнал пожар.

Основно предимство на този метод е високата времева точност, което позволява анализ на кратки времеви интервали между мълнията и пожара. Ограниченията са свързани с различната точност на позициониране и необходимостта от допълнителни данни за потвърждение[5].

• Интегриран подход с ГИС

Геоинформационните системи (ГИС) играят централна роля при картографирането на пожари, причинени от мълния. Те позволяват обединяване на различни пространствени данни в единна среда, включително, спътникови изображения, данни за мълнии, релеф, растителност и земеползване, както и за метеорологични показатели.

Чрез ГИС се извършва пространствен анализ, който включва съпоставяне на данните, определяне на зони с повишен риск и изготвяне на тематични карти. Интегрираният подход значително повишава точността на картографирането и подпомага вземането на управленски решения.

• Статистически и машинно-обучителни модели

Съвременните изследвания все по-често прилагат статистически и машинно-обучителни методи за анализ и прогнозиране на пожари, причинени от мълния. Чрез модели, като логистична регресия, дървета на решенията и невронни мрежи се оценява вероятността за възникване на пожар на базата на множество фактори. Тези модели позволяват прогнозиране на райони с висок риск, подобряване на ранното предупреждение, и оптимизиране на ресурсите за противопожарна защита[7].

Основното предизвикателство е необходимостта от големи обеми качествени данни и сложността на моделите.

4. Предизвикателства и ограничения

Картографирането на пожари, причинени от мълния, е свързано с редица трудности.

Сред основните са:

• несъответствие между пространствената резолюция на различните източници на данни;

• закъснение при откриване на пожари;

• влияние на метеорологичните условия върху точността на наблюденията;

• трудност при доказване на пряка причинно-следствена връзка.

Преодоляването на тези ограничения изисква непрекъснато усъвършенстване на технологиите и методите за анализ[4].

Заключение

Проведеният анализ показва, че картографирането на пожари, причинени вследствие на мълния, изисква комплексен и интердисциплинарен подход. Комбинирането на спътникови данни, системи за детекция на мълнии и геоинформационни технологии позволява значително повишаване на точността при идентифициране на огнищата и оценка на риска. Най-ефективни резултати се постигат чрез интегриран подход, който съчетава спътникови данни, системи за детекция на мълнии, ГИС анализ и съвременни модели за прогнозиране. Развитието на тези методи допринася за по-ранно откриване на пожари, по-добра оценка на риска и по-ефективна работа на противопожарните служби.

В условията на нарастваща честота на екстремни метеорологични явления и климатични промени, значението на подобни изследвания се увеличава. Резултатите от настоящия обзор могат да бъдат използвани като теоретична основа за разработване на национални и регионални системи за мониторинг и ранно предупреждение при пожари, причинени от природни фактори.

ЛИТЕРАТУРА

[1] 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 E, 2021, стр. 30-35, ISSN: 1311-834X.

[2] Янчев, К. Приложения на географските информационни системи в прогнозиране на условията на аерокосмическите изследвания. Годишник на ШУ "Еп. К. Преславски" Технически науки. Том XI E, 2021, стр. 35-40, ISSN: 1311-834X.

[3] Chuvieco, E. (2016). Remote Sensing of Wildfires. CRC Press, Boca Raton

[4] Giglio, L., Schroeder, W., & Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. Remote Sensing of Environment, 178, 31-41

[5] Finney, M. A. et al. (2011). A method for ensemble wildland fire simulation. Environmental Modeling & Assessment, 16(2), 153-167.

[6] NASA. Fire Information for Resource Management System (FIRMS)

[7] USGS. Lightning-caused wildfires: spatial and temporal analysis

ОБУЧЕНИЕТО ПО ГЕОГРАФИЯ В КОНТЕКСТА НА НАЦИОНАЛНАТА СИГУРНОСТ

Мадлен А. Тодорова, Мирослав Н. Кацаров

GEOGRAPHY TRAINING IN THE CONTEXT OF NATIONAL SECURITY

Madlen A. Todorova, Miroslav N. Katsarov

ABSTRACT: *In the context of increasing global instability, climate change, migration processes and geopolitical conflicts, national security is becoming a complex concept that goes beyond traditional military dimensions. This article examines the role of geography education as a key factor in the formation of spatial thinking, geopolitical culture and civic responsibility, necessary for the sustainable development and security of the state. The potential of geographical education for building knowledge, skills and attitudes that support the understanding and management of risks, threats and crises at the national and global levels is analyzed.*

KEYWORDS: *Geographical education, National security, Geopolitics, Sustainable development, Spatial thinking*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MTM

Увод

В научната литература понятието национална сигурност се интерпретира като динамична и многокомпонентна система, която отразява състоянието на защитеност на жизненоважните интереси на държавата, обществото и индивида [1]. Съвременните теоретични подходи разглеждат сигурността не като статично състояние, а като процес на непрекъснато управление на рискове и заплахи, произтичащи от взаимодействието между природни, социални, икономически и политически фактори [10]. В този контекст се налага разширеното разбиране за сигурността, което надхвърля традиционната военна парадигма и включва концепции като човешка, екологична, икономическа и енергийна сигурност [18], [11].

Теоретичната еволюция на концепцията за сигурност предполага необходимостта от интердисциплинарен аналитичен инструментариум, способен да обхване пространствените измерения на съвременните рискове [9], [10]. Географията, като фундаментална пространствена наука, предоставя методологичната основа за изследване на териториалната организация на обществото, разпределението на ресурсите и пространствената диференциация на социално-икономическите процеси [15], [13]. Поради това географското знание се явява съществен елемент в теоретичните модели на националната сигурност [7], [14].

Обучението по география изпълнява посредническа функция между научното познание и практиките на сигурността, като трансформира абстрактните теоретични концепции в образователно съдържание, достъпно за учащите [8]. Чрез формиране на пространствено мислене, аналитични умения и системен подход, географското образование създава предпоставки за осъзнаване на взаимовръзките между територия, население, ресурси и власт – ключови категории в класическите и съвременните геополитически теории [12], [21].

От гледна точка на теорията на риска, географията допринася за идентифицирането, оценката и пространственото моделиране на заплахи, свързани с природни бедствия, климатични промени, екологични кризи и социално-икономически дисбаланси [9], [11]. Географското образование, интегриращо елементи на природна география, социална география и геоекология, формира когнитивна рамка за разбиране на уязвимостта и устойчивостта на териториални системи [26], [27].

В теоретичен план обучението по география може да се разглежда и като компонент на културната и когнитивната сигурност на обществото, тъй като чрез него се конструират пространствени представи, идентичности и ценностни ориентации [23], [24]. Тези представи влияят върху начина, по който индивидите възприемат националното пространство, границите, ресурсите и мястото на държавата в глобалната система [14], [21].

В този смисъл настоящото изследване се основава на разбирането, че обучението по география не е единствено образователен процес, а структурен елемент на националната сигурност, който допринася за изграждането на теоретично осмислена и социално устойчива стратегия за управление на съвременните предизвикателства [6], [16]. Целта на статията е да се анализира ролята на географското образование в контекста на съвременните теории за сигурност и да се аргументира неговото значение като фактор за дългосрочната стабилност на държавата [29].

Националната сигурност като комплексно и пространствено обусловено понятие

В съвременната теория националната сигурност се разглежда като интегративна категория, която обединява различни подсистеми на обществото и държавата в единна рамка за защита и устойчиво развитие [1], [10]. Класическите реалистични концепции, доминиращи в периода на Студената война, интерпретират сигурността предимно като способност на държавата да защитава своя суверенитет и териториална цялост чрез военна мощ [10]. В края на XX и началото на XXI век обаче този подход се оказва недостатъчен за обяснение на новите типове рискове, които все по-често имат невоенен, асиметричен и транснационален характер [9], [11].

В резултат на това в научния дискурс се утвърждава разширената концепция за сигурност, която включва икономически, социални, екологични, демографски и информационни измерения [18], [11]. Националната сигурност започва да се схваща като състояние на устойчив баланс между вътрешни и

външни фактори, при което се гарантира нормалното функциониране на държавата и благосъстоянието на населението [1], [6]. Тази интерпретация поставя акцент върху превенцията, управлението на риска и адаптивността на системите, а не единствено върху реакцията при кризи [9], [17].

Съществен теоретичен аспект на националната сигурност е нейният пространствен характер. Всички основни компоненти на сигурността са териториално обусловени и проявяват ясна географска диференциация [7], [14]. Икономическата сигурност зависи от пространственото разпределение на производството, инфраструктурата и пазарите; енергийната сигурност – от достъпа до ресурси, транспортни маршрути и геополитически коридори; екологичната сигурност – от природните условия, степента на антропогенно натоварване и уязвимостта на екосистемите; демографската сигурност – от териториалните различия в населението, миграционните потоци и урбанизационните процеси [12], [21].

В този смисъл националната сигурност може да бъде разглеждана като пространствено организирана система, в която територията не е пасивен фон, а активен фактор, формиращ както заплахите, така и възможностите за развитие [14], [21]. Географското положение, природните ресурси, климатичните особености и границите на държавата оказват пряко влияние върху стратегическите решения и политиките в областта на сигурността [7], [12]. Това обуславя необходимостта от задълбочен пространствен анализ като част от теоретичната рамка на сигурността [13].

От гледна точка на съвременните теории за риска, националната сигурност е свързана с управлението на комплексни и взаимосвързани заплахи, които често имат кумулативен ефект [9]. Природни бедствия, климатични промени, епидемии, миграционни кризи и социално-икономически неравенства не могат да бъдат анализирани изолирано, тъй като тяхното въздействие се разгръща в конкретни пространствени и регионални контексти [11], [26]. Именно тук се проявява значението на географския подход, който позволява интегрирано разглеждане на природни и обществени процеси [15].

В теоретичен план националната сигурност следва да се осмисля и като функция на човешкия капитал и когнитивните ресурси на обществото. Нивото на образованост, способността за критично мислене и разбирането на пространствените взаимовръзки между глобални и локални процеси се превръщат в съществени фактори за устойчивостта на държавата [8], [16]. Това поставя образованието – и в частност обучението по география – в центъра на теоретичния модел на сигурността като дългосрочен структурен компонент, а не като вторичен социален елемент [20].

В този контекст първата част на изследването утвърждава тезата, че националната сигурност не може да бъде адекватно анализирана и гарантирана без отчитане на нейното пространствено измерение. Географското знание и географският начин на мислене представляват необходима теоретична предпоставка за разбирането на съвременните рискове и за изграждането на ефективни стратегии за сигурност [6], [29].

Географията като теоретична основа на изследванията по сигурност

Географията като научна дисциплина притежава уникален теоретичен потенциал за анализ на проблемите на сигурността, тъй като обединява пространствения, системния и интегративния подход към изследването на природните и обществените процеси [15], [13]. В класическия си вид географията се формира като наука за пространствената организация на природата и човешката дейност, но в съвременния научен контекст тя се развива като интердисциплинарна платформа, способна да осмисля сложни и многостепенни взаимодействия между среда, общество и власт [15], [21].

В теоретичен план географският подход към сигурността се основава на разбирането, че рисковете и заплахите не възникват абстрактно, а се проявяват в конкретни териториални системи [9]. Пространството не е неутрална категория, а активен фактор, който модифицира характера, интензивността и последиците на различните заплахи [14]. Това прави географията ключова наука за анализа на уязвимостта, устойчивостта и адаптивния капацитет на държавите и регионите [11], [26].

Съществен принос на географската теория към изследванията по сигурност е концепцията за териториалната организация. Територията се разглежда не само като физическо пространство, а като социално конструирана среда, в която се преплитат икономически интереси, политическа власт, културни идентичности и екологични ограничения [21], [7]. В този контекст сигурността се интерпретира като функция на начина, по който дадена държава организира, управлява и използва своето пространство [14], [6].

Политическата и геополитическата география предоставят теоретични инструменти за анализ на властовите отношения в пространството, ролята на границите, стратегическото значение на ресурсите и транспортните коридори, както и конфликтния потенциал на определени региони [12], [21]. Геополитическите концепции подчертават, че географските фактори не детерминират пряко политическото поведение на държавите, но създават рамки от възможности и ограничения, в които се вземат решенията в областта на сигурността [14].

От друга страна, физическата география и геоекологията допринасят за теоретичното осмисляне на екологичната и климатичната сигурност. Природните процеси, като климатичните промени, деградацията на екосистемите и зачестяването на екстремните природни явления, се разглеждат като структурни рискови фактори, които оказват дългосрочно въздействие върху социално-икономическата стабилност и сигурността на държавите [11], [26]. Географската теория позволява тези процеси да бъдат анализирани в тяхната пространствена и времева динамика [27].

Особено значение за теоретичния модел на сигурността има и социалната география, която изследва пространствените аспекти на демографските процеси, миграцията, урбанизацията и социалните неравенства [25], [21]. Тези явления често функционират като катализатори на напрежение и нестабилност, особено

когато са съчетани с икономическа маргинализация и ограничен достъп до ресурси [9], [11]. Географският анализ разкрива как социалните рискове се концентрират в определени територии и как това влияе върху националната сигурност [7], [14].

В съвременната научна парадигма географията се утвърждава и като основа за развитието на пространствени технологии и аналитични методи, като геоинформационните системи (ГИС), пространственото моделиране и картографския анализ [13], [15]. Тези инструменти имат не само практическо, но и теоретично значение, тъй като подпомагат изграждането на комплексни модели за прогнозиране и управление на рискове [11], [26]. Теоретичната интеграция между географското познание и анализа на сигурността създава предпоставки за по-високо ниво на научна обоснованост на стратегическите решения [6], [16].

В този смисъл географията може да бъде разглеждана като структурна теоретична основа на изследванията по национална сигурност. Тя осигурява концептуален апарат за разбиране на пространствената логика на заплахите, както и методологични средства за тяхното анализиране и управление [1], [10]. Това обуславя необходимостта географското знание да бъде интегрирано не само в научните изследвания и експертните анализи, но и в образователния процес, където се формират когнитивните модели и нагласи на бъдещите граждани и специалисти [8], [20].

Обучението по география като теоретичен инструмент на националната сигурност

В рамките на съвременните образователни и сигурностни изследвания обучението по география все по-често се разглежда не само като средство за предаване на знания, а като стратегически инструмент за формиране на когнитивни и ценностни структури, имащи пряко отношение към националната сигурност [8], [16]. В теоретичен план географското образование може да бъде интерпретирано като механизъм за изграждане на пространствена рационалност, чрез която индивидите осмислят сложните взаимодействия между територия, общество, ресурси и власт [23], [24].

От гледна точка на теорията на сигурността, образованието изпълнява превантивна функция, като намалява уязвимостта на обществото чрез повишаване на информираността, критичното мислене и способността за прогнозиране на рискове [1], [10]. В този контекст обучението по география има специфично значение, тъй като структурира знанията за пространствените измерения на заплахите и създава основа за системно мислене [7], [13]. Географското знание позволява да се идентифицират пространствените източници на риск, да се анализира тяхното разпространение и да се оценят потенциалните последици за държавата и обществото [9], [11].

Теоретичният модел на географското образование като инструмент на сигурността се основава на интеграцията между когнитивния, ценностния и поведенческия компонент на обучението [8], [16]. Когнитивният компонент включва усвояването на знания за природните и социално-икономическите

системи, географското положение на държавата, ресурсния потенциал и регионалните различия [5], [7]. Ценностният компонент е свързан с формирането на отношение към територията, природата и обществото като взаимосвързани и уязвими системи, изискващи отговорно управление [20]. Поведенческият компонент се проявява в способността за вземане на информирани решения и участие в процеси, свързани със сигурността и устойчивото развитие [17], [6].

В теоретичен аспект обучението по география допринася за изграждането на т.нар. култура на сигурност, която обхваща знания, нагласи и практики, насочени към превенция на рискове и устойчиво управление на пространството [1], [16]. Географската култура включва умения за работа с карти, пространствени модели и статистически данни, които са ключови за разбирането на съвременните заплахи, като климатични промени, миграционни процеси, енергийна зависимост и регионални конфликти [23], [11], [21].

Особено значение има ролята на географското образование за формирането на геополитическа и геоикономическа грамотност. Чрез усвояването на основни теоретични концепции от политическата и икономическата география учащите развиват способност да анализират международните отношения в тяхното пространствено измерение [12], [7Това позволява по-добро разбиране на стратегическите интереси на държавите, ролята на ресурсите и инфраструктурата, както и на конфликтния потенциал на определени региони, което е съществено за националната сигурност [14], [21].

От гледна точка на теориите за устойчиво развитие, обучението по география функционира като посредник между екологичната сигурност и социално-икономическата стабилност [2], [17]. Чрез интегрирането на знания за природните процеси и човешката дейност географското образование създава предпоставки за осъзнаване на дългосрочните последици от управленските решения [26], [27]. Това теоретично обвързване между география, устойчивост и сигурност подчертава значението на образованието като фактор за стратегическа адаптация на обществото [16], [20].

В по-широк теоретичен контекст обучението по география може да бъде разглеждано и като елемент на когнитивната сигурност на държавата. Чрез него се изграждат пространствени представи и интерпретации на националното пространство, които влияят върху обществените нагласи, идентичността и доверието в институциите [23], [24]. Липсата на адекватно географско образование може да доведе до опростени или изкривени представи за глобалните процеси, което увеличава уязвимостта на обществото към дезинформация и манипулация [10], [16].

В този смисъл обучението по география надхвърля рамките на традиционната училищна дисциплина и се утвърждава като структурен компонент на националната сигурност. Теоретичният анализ показва, че чрез формиране на пространствено мислене, географска култура и критична информираност, географското образование допринася за изграждането на устойчиво, адаптивно и сигурно общество [6], [29].

Географското образование и управлението на рискове

В съвременните теории за сигурност управлението на рискове се разглежда като системен и многоетапен процес, включващ идентифициране, оценка, превенция и ограничаване на негативните последици от различни типове заплахи [9], [10]. В този контекст географското образование има съществен принос, тъй като предоставя научната и методологичната основа за пространствен анализ на рисковите фактори и тяхното въздействие върху обществото и територията [7], [13].

Географският подход към управлението на рискове се базира на разбирането, че повечето заплахи – независимо дали са природни, техногенни или социални – се проявяват неравномерно в пространството [11], [26]. Чрез обучението по география учащите усвояват знания за закономерностите в разпределението на природните опасности, като земетресения, наводнения, свлачища, суши и екстремни климатични явления [5], [27]. Тези знания формират теоретична рамка за осмисляне на уязвимостта на различни територии и за оценка на потенциалните щети върху населението, инфраструктурата и икономиката [9], [11].

Съществен аспект на географското образование в контекста на управлението на рискове е интеграцията между физическата география и геоекологията. Чрез изучаването на природните системи и човешкото въздействие върху тях учащите развиват разбиране за антропогенния характер на значителна част от съвременните рискове [26], [27]. Климатичните промени, деградацията на почвите, обезлесяването и урбанизационният натиск се разглеждат като резултат от сложни взаимодействия между природни и социално-икономически фактори, което изисква комплексен аналитичен подход [11], [2].

От теоретична гледна точка управлението на рискове предполага не само реакция при настъпване на кризи, но и изграждане на капацитет за превенция и адаптация [9], [17]. Географското образование допринася за този процес чрез формиране на умения за пространствено прогнозиране и сценарно мислене [13], [15]. Анализът на карти, статистически данни и пространствени модели позволява да се идентифицират зони с повишен риск и да се оценят възможните бъдещи развития, което е ключово за ефективното планиране в областта на сигурността [11], [26].

Особено значение има и ролята на географията за управлението на социално-икономически рискове, като демографски дисбаланси, миграционни процеси и регионални неравенства [21], [25]. Чрез социалната и икономическата география учащите придобиват знания за пространствените модели на населението и стопанството, които често са в основата на социално напрежение и нестабилност [7], [14]. Географското образование подпомага разбирането на тези процеси като дългосрочни структурни рискове, изискващи стратегически, а не краткосрочни решения [1], [6].

В контекста на националната сигурност управлението на рискове е тясно свързано и с развитието на култура на превенция [1], [16]. Географското образование играе ключова роля за изграждането на такава култура, тъй като

формира информирано и отговорно отношение към пространството и ресурсите [23], [20]. Чрез осъзнаване на причинно-следствените връзки между човешката дейност и възникването на рискове учащите развиват нагласи за устойчиво поведение и участие в процесите на управление на територията [17], [6].

От методологична гледна точка обучението по география въвежда учащите в използването на съвременни пространствени инструменти, като картографски анализ и геоинформационни технологии, които са от съществено значение за управлението на рискове [13], [15]. Макар и на различно ниво на сложност, тези инструменти подпомагат изграждането на пространствена компетентност и аналитичен подход към сигурността [11], [26].

В обобщение, географското образование може да бъде разглеждано като ключов елемент от теоретичната рамка на управлението на рискове в контекста на националната сигурност. Чрез интегриране на знания за природни и социални процеси, пространствен анализ и култура на превенция, обучението по география допринася за изграждането на устойчиво общество, способно да предвижда, минимизира и управлява съвременните заплахи [6], [29].

Основни изводи

Националната сигурност в съвременните условия не може да бъде адекватно анализирана и гарантирана без отчитане на нейното пространствено измерение, което поставя географията в центъра на теоретичния модел на сигурността [7], [13], [14].

Географското образование формира пространствено мислене и аналитични умения, които са необходими за разбиране и управление на сложни и взаимосвързани рискове на национално и глобално ниво [23], [24], [16].

Обучението по география изпълнява превантивна функция в системата на националната сигурност, като намалява социалната и когнитивната уязвимост на обществото чрез повишаване на информираността и критичното мислене [1], [8], [10].

Интегрирането на теми, свързани с рискове, устойчиво развитие и сигурност, в учебното съдържание по география допринася за изграждането на култура на превенция и адаптация [17], [26].

Географското образование следва да бъде разглеждано като стратегическа инвестиция, тъй като неговото въздействие върху сигурността има дългосрочен характер и се проявява чрез подготовката на информирани и отговорни граждани [6], [16], [29].

Липсата на системно и задълбочено географско образование увеличава риска от неправилни интерпретации на глобалните процеси и създава предпоставки за уязвимост на обществото към дезинформация и манипулация [10], [16], [23].

Заключение

Настоящото изследване утвърждава тезата, че обучението по география представлява съществен, но често подценяван компонент на съвременната система за национална сигурност [1], [6]. В условията на нарастваща сложност на глобалните процеси, характеризиращи се с множественост на рисковете, пространствена неравномерност на заплахите и висока степен на взаимозависимост между природни и социални системи, необходимостта от интердисциплинарен и пространствено ориентиран подход към сигурността става все по-очевидна [9], [10]. Географията, като наука за пространствената организация на света, предлага именно такава аналитична рамка [15], [13].

Изследването показа, че националната сигурност следва да бъде осмисляна като динамична система, в която територията, ресурсите, населението и институционалните структури взаимодействат в условията на постоянно променящи се вътрешни и външни фактори [1], [10]. В този контекст географското знание изпълнява фундаментална теоретична функция, тъй като позволява да се разкрият пространствените закономерности на рисковете и уязвимостта, както и да се идентифицират възможностите за устойчиво развитие и адаптация [7], [14], [17]. Обучението по география трансформира това знание в когнитивен ресурс, достъпен за широки социални групи, което придава на образованието стратегическо значение за сигурността [8], [16].

В хода на анализа обучението по география беше концептуализирано като инструмент за формиране на пространствено мислене и култура на сигурност [23], [24]. Чрез усвояване на знания за природните и социално-икономическите процеси, геополитическите взаимодействия и управлението на територията, учащите изграждат способност да разбират сложни причинно-следствени връзки и да оценяват дългосрочните последици от управленските решения [12], [21]. Това теоретично осмисляне на географското образование го позиционира като превантивен механизъм, насочен към намаляване на когнитивната и социалната уязвимост на обществото [1], [8].

Особено значение в заключителния синтез заема ролята на географското образование в управлението на рискове. Анализът подчерта, че географският подход позволява интегрирано разглеждане на природни, екологични и социално-икономически заплахи, които често се проявяват кумулативно и имат дългосрочни последици за националната сигурност [9], [11], [26]. Чрез формиране на умения за пространствен анализ, прогнозиране и оценка на уязвимостта, обучението по география подпомага изграждането на култура на превенция и адаптивност – ключови елементи на съвременните стратегии за сигурност [17], [20].

В по-широк теоретичен контекст географското образование може да бъде разглеждано и като фактор на когнитивната и културната сигурност на държавата [16; 23]. Чрез него се формират пространствени представи и интерпретации на националното и глобалното пространство, които оказват влияние върху обществените нагласи, идентичността и доверието в институциите [24], [14]. Недостатъчното или фрагментарно географско познание увеличава риска от

опростени интерпретации на сложни глобални процеси и създава предпоставки за манипулация и дезинформация, което има пряко отражение върху сигурността [10], [16].

В този смисъл основният извод на настоящото изследване е, че обучението по география следва да бъде институционално и концептуално интегрирано в стратегиите за национална сигурност и устойчиво развитие [6], [17], [29]. Това предполага не само запазване, но и разширяване на неговото присъствие в образователните програми, както и модернизиране на съдържанието и методите на обучение чрез интердисциплинарни връзки и използване на съвременни пространствени технологии [16], [20].

В заключение може да се подчертае, че инвестициите в географско образование представляват дългосрочна инвестиция в сигурността на държавата. Чрез изграждане на информирани, критично мислещи и пространствено грамотни граждани, географското образование допринася за създаването на устойчиво общество, способно не само да реагира на кризи, но и да ги предвижда и управлява в условията на глобална несигурност и трансформации [1], [8], [16], [29]. Именно в този теоретичен и практико-приложен смисъл обучението по география следва да бъде признато като стратегически ресурс на националната сигурност.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Атанасов, А. (2016). Националната сигурност – теоретични основи и практически измерения. София: Военна академия „Г. С. Раковски“.

[2] Георгиев, Г. (2018). География и устойчиво развитие. София: Университетско издателство „Св. Климент Охридски“.

[3] Димитров, Д. (2017). Националната сигурност като система. – Сигурност и отбрана, № 2, с. 15–28.

[4] Иванов, И. (2019). Географското образование в контекста на глобалните рискове. – Педагогически форум, № 4, с. 45–58.

[5] Младенов, Ч., Копралев, И. (2014). Обща физическа география. София: Анубис.

[6] Национална стратегия за национална сигурност на Република България. (2018). София.

[7] Пенин, Р. (2015). Политическа география и геополитика. София: Университетско издателство „Св. Климент Охридски“.

[8] Тодоров, Т. (2020). Образованието като фактор за национална сигурност. – Социални изследвания, № 1, с. 73–89.

[9] Beck, U. (1992). Risk Society: Towards a New Modernity. London: Sage Publications.

[10] Buzan, B., Wæver, O., de Wilde, J. (1998). Security: A New Framework for Analysis. Boulder: Lynne Rienner Publishers.

[11] Dalby, S. (2002). Environmental Security. Minneapolis: University of Minnesota Press.

[12] Flint, C. (2016). Introduction to Geopolitics (3rd ed.). London: Routledge.

[13] Gregory, D., Johnston, R., Pratt, G., Watts, M., Whatmore, S. (2009). The Dictionary of Human Geography (5th ed.). Oxford: Wiley-Blackwell.

[14] Kaplan, R. (2012). The Revenge of Geography. New York: Random House.

[15] Livingstone, D. (1992). The Geographical Tradition. Oxford: Blackwell.

[16] OECD. (2018). Global Competence for an Inclusive World. Paris: OECD Publishing.

[17] United Nations. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations.

[18] UNDP. (1994). Human Development Report. New York: Oxford University Press.

[19] European Union. (2016). Shared Vision, Common Action: A Stronger Europe – EU Global Strategy. Brussels.

[20] UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. Paris: UNESCO.

[21] Колосов, В. А., Мироненко, Н. С. (2005). Геополитика и политическая география. Москва: Аспект Пресс.

[22] Дугин, А. Г. (1997). Основы геополитики: Геополитическое будущее России. Москва: Арктогея.

[23] Максаковский, В. П. (1998). Географическая культура. Москва: ВЛАДОС.

[24] Максаковский, В. П. (2001). Географическая картина мира (в 2 кн.). Москва: Дрофа.

[25] Гладкий, Ю. Н., Чистобаев, А. И. (2011). Экономическая и социальная география России. Санкт-Петербург: Питер.

[26] Данилов-Данильян, В. И., Лосев, К. С. (2000). Экологический вызов и устойчивое развитие. Москва: Прогресс-Традиция.

[27] Голубев, Г. Н. (2003). Геоэкология. Москва: Академия.

[28] Вернадский, В. И. (1991). Научная мысль как планетное явление. Москва: Наука.

[29] Российская Федерация. (2021). Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Москва.

УПРАВЛЕНИЕ НА ЛИЧНАТА СИГУРНОСТ ПРИ ВЪЗНИКВАНЕ НА ИЗВЪНРЕДНИ СИТУАЦИИ: ПОДХОДИ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА

Мирослав Г. Петков

PERSONAL SECURITY MANAGEMENT IN EMERGENCIES: APPROACHES AND CHALLENGES

Miroslav G. Petkov

ABSTRACT: *The report examines key aspects of personal security management in the context of emergencies. It analyzes the legal framework related to the definition and management of disasters, accidents, and crises, as well as the role of responsible institutions. Attention is given to major threats to personal security, including natural disasters, terrorist attacks, and technological accidents. Models for enhancing individual preparedness and resilience are presented, including personal action plans, training programs, and communication strategies. The report emphasizes the need for a proactive security culture and the integration of personal security into national and public protection systems.*

KEYWORDS: *Emergencies, Personal security, Risk, Disasters, Management, Institutions, Preparedness, Response, Legal framework*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MGP

Увод

Съвременната сигурност не може да бъде разглеждана единствено като функция на държавните институции, а следва да включва и личната отговорност на индивида за собствената му безопасност, особено в условията на извънредни ситуации. Участието на гражданите в изграждането на устойчивост срещу кризи и бедствия е ключов елемент от модерния подход към управлението на сигурността.

Настоящият доклад разглежда основните подходи за управление на личната сигурност, рисковете и предизвикателствата пред нейното ефективно осигуряване.

Извънредни ситуации и правна рамка

Съгласно Закон за защита при бедствия, „извънредната ситуация“ представлява събитие или поредица от събития, които застрашават живота и здравето на хората, обществения ред, националната сигурност или околната среда и изискват незабавна институционална реакция.

В българската нормативна база понятието е застъпено в няколко ключови закона:

• Закон за защита при бедствия (ЗЗБ), дефинира бедствието като „събитие, което застрашава живота или здравето на населението, околната среда, материалните и културните ценности и изисква предприемане на спешни мерки“ [2]. Законът разглежда бедствията като вид извънредна ситуация.

• Закон за Министерството на вътрешните работи (ЗМВР), предвижда действията на МВР при извънредни обстоятелства, включително взаимодействието със силите на Единната спасителна система [3].

• План за защита при бедствия, утвърждаван на национално и регионално ниво, класифицира извънредните ситуации на [5]:

- Природни бедствия (земетресения, наводнения, урагани);
- Техногенни инциденти (аварии, промишлени катастрофи);
- Биологични заплахи (епидемии, пандемии);
- Социални сътресения (бежански вълни, граждански вълнения);
- Хибридни и терористични заплахи.

Класификацията има значение за активацията на различни сценарии за реакция, както и за степента на въвличане на институциите и ресурсите на държавата.

Както споменахме в началото, сигурността е функция на държавните институции и тук ролята им е от съществено значение. Националната система за защита при бедствия (НСЗБ) е централен координиращ механизъм, в който участват множество ведомства.

Основните институции и техните правомощия включват [1,2]:

• Министерски съвет - приема Националния план за защита при бедствия и координира действията при кризисни ситуации от национален мащаб;

• Министерство на вътрешните работи (МВР) - чрез Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“ (ГДПБЗН) ръководи оперативната реакция, евакуацията, логистиката и спасителните дейности;

• Министерство на отбраната (МО) - включва се при особено тежки ситуации, които надхвърлят възможностите на МВР, предоставя техника, транспорт, комуникации и инженерна помощ чрез въоръжените сили;

• Местните органи на властта - кметовете и областните управители носят отговорност за изготвяне на регионални планове, провеждане на обучения и осигуряване на координация между службите на терен;

• Здравни институции и БЧК - отговарят за осигуряване на медицинска помощ, първа психологическа помощ, евакуация на уязвими групи и осигуряване на хуманитарна подкрепа.

Тази мултиинституционална рамка обаче изисква ясни канали за комуникация, съвместими системи за управление на инциденти и достатъчно обучен персонал, за да бъде ефективна при реална извънредна ситуация.

Познаването на правната рамка и институционалните отговорности е от решаващо значение за управлението на личната сигурност [9]. Гражданите следва да:

- знаят как да реагират при аларма за бедствие;
- се ориентират към кои институции да се обърнат;
- познават основните сигнали и инструкции;
- участват в обучения, провеждани от местните власти или доброволчески структури.

Именно осъзнатото участие на индивида в процесите на планиране и реакция при извънредни ситуации повишава общото равнище на устойчивост на обществото и намалява риска от паника и неправилна реакция.

В допълнение, Законът за отбраната и въоръжените сили (ЗОВСРБ), както и подзаконови нормативни актове определят ролята на гражданите и необходимостта от лична подготовка и участие при реагиране на кризи.

Рискове за личната сигурност при извънредни ситуации

Извънредните ситуации могат да бъдат класифицирани в няколко основни категории: **природни бедствия,** техногенни аварии и **социални кризи.** Във всички посочени случаи индивидът е изправен пред сериозни заплахи, които могат да засегнат както физическата, така и психическата му цялост [6]. От значение е не само институционалната защита, но и способността на всеки гражданин да реагира адекватно, информирано и подготвено.

Природа и типове рискове. Личната сигурност в контекста на извънредни ситуации е комплексен въпрос, който обхваща както физическото оцеляване на индивида, така и психо-емоционалното, социалното и икономическото му благосъстояние. Рисковете могат да бъдат класифицирани по произход, мащаб и въздействие върху индивида. Те включват както директни заплахи за живота и здравето, така и вторични рискове, произтичащи от срив на критичната инфраструктура, липса на достъп до медицинска помощ, храна, вода, комуникации и др. [7]

Като примери за рискове могат да бъдат посочени следните [8]:

- Природни бедствия - земетресения, наводнения, свлачища, горски пожари и урагани представляват внезапни и често разрушителни явления. Например при наводнение личният риск включва не само удавяне, но и хипотермия, инфекциозни заболявания, травми от падане на конструкции и т.н.;
- Технологични аварии - инциденти в енергийния сектор, химическата промишленост или транспортната инфраструктура могат да имат широк спектър на въздействие. Авария в химически завод, например, може да предизвика

разпространение на токсични вещества, изискващо евакуация, използване на индивидуални средства за защита и сложна медицинска реакция;

• Терористични атаки и актове на насилие - засягат не само физическата сигурност, но и създават продължително усещане за тревожност и уязвимост. Дори заплаха от такъв акт може да отключи поведение, водещо до паника, изолация или нерационални решения;

• Биологични заплахи - пандемии, епидемии и други масови зарази налагат промяна в поведението, ограничаване на мобилността, спазване на строги санитарни протоколи и често водят до социална изолация и психическо натоварване;

• Социални конфликти и масови безредици - протестни действия, бунтове или внезапни изблици на насилие в обществото могат да изложат индивида на непредвидими заплахи - нападения, арести, загуба на имущество и др.

Индивидуален риск и възприемане на заплахата. Понятието „личен риск“ се отнася до степента, в която даден индивид е изложен на вредни въздействия в резултат на конкретна извънредна ситуация. Но субективното възприятие на заплахата невинаги отговаря на реалния риск. Този когнитивен дисонанс често води до [4,7]:

• Подценяване на риска - особено при познати заплахи („това никога няма да се случи на мен“), което води до липса на подготовка, неглижиране на инструкции и забавена реакция;

• Свръхреакция - при внезапна заплаха някои хора изпадат в паника, което може да доведе до хаотично поведение, пренебрегване на инструкции и дори наранявания;

• Пренос на страхове - когато хората възприемат дадена ситуация като екстремно опасна, дори да не са пряко застрашени, това води до т.нар. „социална паника“, предавана чрез медии, социални мрежи и слухове.

Именно разликата между обективен и субективен риск прави обучението, информираността и личната подготовка решаващи. Един информиран гражданин не само оценява по-точно реалните заплахи, но и предприема адекватни действия за защита на себе си и близките си.

Психо-социални аспекти на риска. Не трябва да се подценява и психо-социалният ефект на извънредните ситуации. Индивидът може да развие [4]:

• Посттравматичен стрес, тревожни състояния или депресия;

• Социална изолация - особено при продължителни извънредни мерки (карантина, забрани за придвижване);

• Икономически стрес - загуба на доходи, имущество или достъп до услуги.

В този смисъл управлението на личната сигурност трябва да се разглежда като цялостен процес, който включва не само физическо, но и психическо и социално оцеляване.

Модели за управление на личната сигурност

Управлението на личната сигурност в условия на извънредна ситуация изисква системен, превантивен и адаптивен подход, който обединява знания, умения и поведенчески нагласи. За разлика от класическите модели на управление, при които йерархията и процедурите играят водеща роля, управлението на личната сигурност акцентира върху индивидуалната автономия, информираност и готовност за действие.

Индивидуално ориентирани модели [7]:

● Модел на трите „П“ - предвиждане, подготовка, поведение. Това е един от най-простите, но ефективни подходи при управление на лична сигурност:

- Предвиждане - анализ на възможните заплахи според локация, професия, социална среда. Пример: живущ в сеизмично активен район трябва да е наясно с процедурите при земетресение.
- Подготовка - изграждане на личен план за действие, наличност на комплект за оцеляване, знания за основна първа помощ и поведение при евакуация.
- Поведение - прилагане на наученото в реална ситуация: спокойствие, ориентация, следване на инструкции, минимизиране на риска.

● Модел за лична резилиентност (Resilience Model). Този подход подчертава не само готовността за реакция, но и способността на индивида да се адаптира и възстанови след криза. Състои се от:

- Психологическа устойчивост - умения за справяне със стрес, тревожност и несигурност;
- Социална подкрепа - поддържане на връзка със семейство, съседи и приятели;
- Способност за вземане на решения - при недостиг на информация и в условия на натиск.

Институционално подкрепени модели:

● Модел „Общество на готовността“ (Whole-of-Society Approach). Този модел, широко застъпен в стратегиите на ЕС и НАТО, изисква активното участие на гражданите в подготовката за извънредни ситуации. Ключов елемент тук е взаимодействието между държавните институции и гражданите. Елементите включват:

- Образователни кампании за лична безопасност;
- Ролята на училищата и университетите в повишаване на гражданската защита;

- Публични симулации и учения за евакуация.

• Модел на „Гражданска самопомощ“ (Community-Based Safety). Особено приложим при бедствия и в отдалечени райони. В този модел гражданите поемат отговорност за себе си и своята общност, като изграждат локални мрежи за предупреждение, споделят ресурси и оказват взаимопомощ.

Интегрирани подходи. Все по-често се прилага хибриден модел, който съчетава индивидуалната инициатива с институционална подкрепа. Например:

• Лично изтеглени мобилни приложения за сигурност, които получават известия от институциите (BG Alert, Earthquake app);

• Програми за „доброволци“ към БЧК или общините, чрез които гражданите участват в реални действия при извънредни събития;

• Интеграция между лични комуникационни устройства и национални системи за ранно предупреждение.

Повишаване на капацитета за лична защита – образование и комуникация

Един от най-важните аспекти на управлението на личната сигурност в условията на извънредна ситуация е предварителното изграждане на знания, умения и нагласи у гражданите. Това става чрез добре структурирани образователни инициативи и ефективна комуникация между институции и общество.

В тази връзка, от особено важно значение е ролята на образованието в изграждането на култура на сигурност. Формалното и неформално образование играят решаваща роля за формиране на гражданска отговорност и превантивна култура. В този контекст се разглеждат:

- Въвеждане на теми, свързани с бедствия, аварии и защита на населението в училище. Провеждат са обучения по първа помощ, евакуационни планове, поведение при различни типове заплахи. Провеждане на симулации и практикуми със съдействие на институции като МВР, БЧК и ГДПБЗН.
- Висшето образование и университетите. Развиват се образователни програми по национална сигурност, кризисен мениджмънт и защита на населението. Въвеждат се специализирани дисциплини по управление при бедствия и лична защита. Провеждат се практически обучения, базирани на реални сценарии.

През последните години голям интерес предизвикват образователните инициативи, насочени към младите хора. Младите хора представляват стратегическа целева група. Включването им в образователни дейности по сигурност има дългосрочен ефект:

• Програми за доброволци - съвместни инициативи на МОН и БЧК за участие на ученици и студенти в дейности по защита на населението.

• „Ден на отворените врати“ в институции по сигурност - посещения, демонстрации и презентации за млади хора.

• Участие в младежки кампании - включително дигитални (онлайн симулатори, мобилни приложения за обучение).

Така младите хора не само научават как да действат при извънредни ситуации, но се формира у тях нагласа за отговорно и активно поведение като част от общата култура на сигурност.

Стратегическа комуникация и информираност на населението е от съществено значение, т.к. комуникацията с обществото е ключова по време на извънредни ситуации. Тук е необходимо да се подчертае, че тя трябва да започва много преди настъпването на извънредните ситуации. Примерни дейности в тази насока са [6]:

• Мултиплатформени информационни кампании, провеждани от МВР, МО, НСЗ, областни и общински власти;

• Достъпни и разбираеми указания - чрез брошури, видеа, социални мрежи, мобилни приложения;

• Системи за ранно предупреждение - SMS, приложения, платформи за масови известия.

Целта на ефективната комуникация е да създаде чувство за сигурност чрез знание, като в същото време се избягва паника и дезинформация.

Заключение

В условията на нарастващи рискове - природни, технологични, хибридни и свързани с тероризъм - управлението на личната сигурност се превръща в критичен компонент на съвременната парадигма на националната сигурност. Личната сигурност не може да бъде възложена изцяло на институциите, а трябва да бъде резултат от съвместни усилия между държавата и гражданското общество. Повишаването на информираността, включването в практически обучения и изграждането на култура на готовност ще гарантират по-устойчиво и ефективно управление на риска при бъдещи извънредни събития.

В настоящия доклад беше направен опит да се обоснове значението на индивидуалната готовност, информираност и капацитет за самозащита при извънредни ситуации.

Бяха разгледани нормативните основи и институционалната рамка в България, която осигурява механизми за координирано реагиране в криза. Посочени бяха основни рискове за личната сигурност, както и възприятията на гражданите за заплаха – фактор, който значително влияе върху тяхното поведение в критични ситуации.

Чрез анализа на модели за управление на личната сигурност беше подчертано, че ефективната защита не е възможна без проактивен подход, включващ както държавната, така и индивидуалната отговорност. Особен акцент

беше поставен върху образованието и стратегическата комуникация, като инструменти за изграждане на култура на сигурност в обществото.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Диманова Д, Национална система за защита при бедствия, НК „Облачните структури и защитата на информацията“, НВУ „В. Левски“, Факултет Артилерия, ПВО и КИС“, Шумен, 2016, ISBN 978-954-9681-73-4. pp. 156-160.

[2] Закон за защита при бедствия. ДВ, бр. 102 от 19.12.2006 г., изм. и доп. ДВ. бр.60 от 7 Юли 2020.

[3] Закон за Министерството на вътрешните работи. ДВ, бр. 53 от 27.06.2014 г., изм. и доп. ДВ. бр.100 от 25 Ноември 2025.

[4] Манойлова, М. Личностни аспекти на възприемането на риска. - В: Психологични изследвания, 2020, № 1, с. 57–66. ISSN 1311-4700.

[5] Национален план за защита при бедствия. София: МС, 2020.

[6] Национална стратегия за намаляване на риска от бедствия 2018–2030 г. София: МС, 2018.

[7] Чукурлиев, П. Лична сигурност. София: Университетско издателство „Стопанство“, 2018. ISBN 978-954-644-956-0.

[8] Dimanova D, Analysis of risk factors for the occurrence of natural disasters. Association Scientific and Applied Research, Journal Scientific and applied research, Vol. 7, 2015, ISSN 1314-6289. pp.80-88.

[9] Dimanova D., Nedelchev N, Normative regulation of social relations arising from disasters, Association Scientific and Applied Research, Journal Science Education Innovation, Vol.5, 2015, ISSN 1314-9784. pp. 37-45.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИ И ОРГАНИЗАЦИОННИ АСПЕКТИ НА ЛИЧНАТА СИГУРНОСТ

Мирослав Г. Петков

PSYCHOLOGICAL AND ORGANIZATIONAL ASPECTS OF PERSONAL SECURITY

Miroslav G. Petkov

ABSTRACT: *The report explores key psychological and organizational factors influencing personal security management in the context of emergency situations. Emphasis is placed on the psychology of human behavior under crisis, including fear, panic, and freeze responses, as well as individual stress resilience. Leading theories of motivation, leadership, and adaptability are examined to explain behavioral patterns in the face of threats. Particular attention is given to the role of transformational leadership and the importance of organizational culture in enhancing preparedness and employee resilience. The report offers recommendations for training, simulations, and communication strategies to build a proactive security culture. The conclusions highlight the need for a comprehensive and integrated approach involving both individual and institutional levels.*

KEYWORDS: *Psychological resilience, Personal security, Leadership, Motivation, Adaptability, Organizational culture, Crisis, Response, Stress, Emergency situations*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25MIR

Увод

Сигурността на индивида в условия на извънредни ситуации не се свежда единствено до физическа защита или институционални мерки. Тя включва и дълбоко психологическо измерение. Психическата устойчивост се превръща в критичен фактор, който определя не само поведението на отделния човек по време на криза, но и способността на цели групи да реагират ефективно в условия на несигурност, заплаха и бързо променяща се среда.

В условия на бедствия, аварии или хибридни заплахи личната сигурност зависи в значителна степен от вътрешната способност на индивида да овладява стреса, да взема решения под напрежение и да мобилизира своите ресурси. На този фон лидерството и мотивацията играят решаваща роля - не само като фактори за поведение, но и като инструменти за управление на общата психологическа атмосфера в засегнатата среда.

Целта на настоящия доклад е да анализира как психологическите реакции при криза, стиловете на лидерство и организационната култура се преплитат и влияят върху личната сигурност. Ще бъдат разгледани съвременни теории и

приложни модели, които подпомагат по-доброто разбиране на човешкото поведение при заплаха, както и подходите за изграждане на адаптивност, устойчивост и ефективно поведение в екстремни условия.

Психология на поведението при криза

Кризисните ситуации отключват силни емоционални и физиологични реакции, които влияят пряко върху поведението на индивида. В психологически план, кризата представлява събитие, което нарушава нормалния житейски ритъм и изисква бързо адаптиране към променената реалност [1]. Тези състояния често водят до временно блокиране на когнитивните функции, чувство за загуба на контрол и нужда от външна подкрепа.

Най-често срещаните инстинктивни реакции при заплаха са „борба, бягство или замръзване“ (fight, flight, freeze) [3,4,8]. Това са еволюционни механизми, активиращи се чрез симпатиковата нервна система. В условия на извънредни ситуации често се наблюдава реакцията „замръзване“, при която индивидът блокира и не е способен да реагира адекватно - често свързана с когнитивно претоварване или парализиращ страх.

Паниката е особено рискова, тъй като провокира импулсивно и несъгласувано поведение, особено в групови контексти. Липсата на ясна комуникация и лидерство засилва ефекта на паниката, превръщайки я в допълнителна заплаха за колективната сигурност.

Сред основните психологически теории, обясняващи индивидуалното поведение при криза, могат да се посочат следните:

- Моделът на Кюблер-Рос описва пет етапа на психологическа реакция: отричане, гняв, пазарене, депресия и приемане. Тези етапи не винаги са линейни, но позволяват разбиране на емоционалния процес в стресови ситуации.
- Моделът на Лазарус и Фолкман (Lazarus & Folkman) разглежда стреса като резултат от когнитивната оценка на събитието и наличните ресурси за справяне. Индивидите с усещане за контрол и ефективност преживяват по-ниски нива на дистрес.
- Теорията на резилиентността (устойчивостта) подчертава способността на индивида да се възстанови след травматично събитие. Резилиентните хора демонстрират по-висока адаптивност, социална гъвкавост и саморегулация.
- Теорията за „научената безпомощност“ (Seligman) обяснява, че след повтарящи се негативни преживявания, при които действията не водят до промяна, индивидът губи вяра във възможността за контрол и изпада в пасивност.

Ролята на лидерството в извънредна ситуация

В условия на извънредни ситуации, качественото лидерство е ключов фактор за запазване на реда, координацията и психическата устойчивост на хората. Поведението на лидерите, както формални (началници, командири, институционални фигури), така и неформални (харизматични личности, експерти), оформя възприемането на риска и влияе върху избора на действия от страна на подчинените или гражданите.

В литературата по управление се открояват два основни стила на лидерство, които имат особено значение в извънреден контекст [2,7]:

• Транзакционно лидерство. То се основава на ясна йерархия, правила и контрол, при което лидерът използва награди или санкции за постигане на целите. То е ефективно в строго регламентирани структури, като полицейски и военни служби, където бързата мобилизация и подчинение са критични.

• Трансформационно лидерство. При него се поставя акцент върху вдъхновение, мотивация и визия, като лидерът повишава морала и ангажираността на екипа. В извънредни ситуации този стил може да повиши психологическата устойчивост и доброволното участие, особено при кризи с неясни параметри и дългосрочни последици.

Изследвания показват, че ефективните лидери в кризи често съчетават елементи и от двата стила, в зависимост от контекста. Например използват транзакционни механизми за бърза мобилизация и трансформационни подходи за поддържане на морала.

Поведението на ръководителите и авторитетни фигури в извънредна ситуация е от съществено значение. Наличието на доверен лидер, който демонстрира яснота, спокойствие и емпатия, значително намалява паниката и дезорганизацията в критични моменти. Според психологическите модели на управление на кризи, хората търсят насочване и поведенчески ориентири, които подражават. Затова поведението на лидера има мултиплициращ ефект върху групата [5].

Фокусът върху лидерството в бизнес организации в условия на промяна също намира своя паралел тук - управление на несигурност чрез комуникация, адаптивност и поддържане на доверие. В извънредни ситуации, тези принципи придобиват критично значение за оцеляването и психосоциалната стабилност на екипите.

Мотивация и адаптивност

В условия на извънредни ситуации, мотивацията на индивида и неговата способност да се адаптира към новата реалност са от ключово значение за личната сигурност и ефективността на колективната реакция. Кризите поставят индивидите под натиск, който изпитва техните вътрешни механизми за справяне, като често изисква бърза преоценка на приоритети, реакция на несигурност и участие в колективни действия [9].

Разбирането на мотивационните фактори в криза може да бъде постигнато чрез няколко класически модела:

• Йерархията на потребностите на Маслоу разглежда мотивацията като пирамидална структура, в която основните физиологични и сигурностни нужди са в основата. При извънредна ситуация именно тези нужди се активират - оцеляване, защита, физическа безопасност, което формира основата за поведението на индивида.

• Двуфакторната теория на Херцберг прави разграничение между хигиенни фактори (условия на труд, заплащане, сигурност) и мотиватори (признание, постижения, развитие). В контекста на криза, когато хигиенните

фактори са нарушени, мотивацията се измества към компенсаторно поведение или оттегляне.

- Теорията на McGregor за X и Y парадигмите представя две противоположни нагласи на ръководството към служителите. Теория X приема, че хората са пасивни и трябва да бъдат контролирани, докато Теория Y приема, че хората могат да бъдат самомотивирани и отговорни при наличие на доверие и подкрепа – критичен елемент в криза.

В извънредни обстоятелства, мотивацията може да бъде подсилена чрез целенасочена комуникация, споделяне на цели и укрепване на чувството за принадлежност и контрол.

Някои практически подходи, базирани на поведенческа психология и организационно поведение, доказано повишават адаптивността и желаните реакции при кризи:

- Позитивно подкрепление: награждаване на адаптивни и рационални действия (например участие в евакуация, оказване на помощ);
- Комуникационни кампании с емпатия и доверие: стимулират саморегулация и солидарност;
- Ролево моделиране от лидерите: когато лидерите демонстрират увереност, спокойствие и организираност, те служат за поведенчески ориентир;
- Информираност и обучение предварително: създават вътрешна рамка за реакция и засилват усещането за контрол.

Всички тези подходи подкрепят психологическата готовност и вътрешната мотивация, като намаляват зависимостта от външни фактори в хаотична среда.

Организационна култура и подготовка

Организационната култура играе критична роля при формирането на устойчиво поведение и ефективен отговор в извънредни ситуации. Нормите, ценностите, практиките и лидерските модели в една организация определят до голяма степен как нейните членове ще реагират на заплахи и стресови събития [10].

Организации с добре изградена култура на сигурност показват по-висока степен на адаптивност, доверие в лидерите и координирани реакции по време на криза. Тези култури се характеризират с висока чувствителност към риска, ясно дефинирани протоколи, прозрачна комуникация и насърчаване на инициативността.

Противоположно, култури на страх, пасивност или авторитаризъм често водят до объркване, липса на инициативност и дезорганизация в критични моменти.

Един от най-ефективните подходи за подготовка на персонала и формиране на желана реакция в кризисни условия е провеждането на регулярни тренировки, симулации и учения. Те спомагат за:

- Автоматизиране на реакции чрез изграждане на условни рефлекси;

- Разграждане на стресовите бариери чрез експозиция в контролирана среда;
- Изграждане на екипна сплотеност и доверие.

Симулациите могат да включват реалистични сценарии за евакуация, реакции на терористични заплахи, киберинциденти, природни бедствия и др., като позволяват на участниците да практикуват действия и да коригират грешки без реална заплаха.

Едно от предизвикателствата на ефективното управление е провеждането на информационни кампании и изготвянето на комуникационна стратегия. В тази връзка, организациите трябва да изграждат проактивна комуникационна среда, в която служителите са добре информирани за:

- рисковете, които засягат тяхната безопасност;
- процедурите, които трябва да следват;
- каналите, по които да комуникират при нужда.

Кампании с яснота, емпатия и прозрачност насърчават култура на ангажираност и доверие. Важно е също така информацията да бъде многоезична, визуална и адаптирана към различните нива на подготовка.

Относно индикаторите за ефективна организационна подготовка може да се изброят няколко, които показват, че организацията има изградена ефективна култура на реакция. Това са:

- наличие на обучени вътрешни екипи по сигурност;
- ясно дефинирани роли и отговорности при инциденти;
- достъп до ресурси и оборудване за първоначална реакция;
- анализи и оценка след симулации (lessons learned);
- възможност за психологическа подкрепа на служителите [6].

Всички тези аспекти трябва да бъдат част от обща стратегия за управление на личната и организационната сигурност в условия на нестабилност.

Заключение

В съвременната среда на нарастващи и често непредвидими заплахи, управлението на личната сигурност не може да се разглежда изолирано от **психологическите и организационните фактори**, които оформят поведението на индивидите и групите в условия на криза. Настоящият доклад подчерта важността на **емоционалната и поведенческа устойчивост** като основен елемент от личната защита, особено в контекста на извънредни ситуации.

Анализът показа, че **реакциите на страха, паниката или замръзването** могат да бъдат предвидени и смекчени чрез познаване на психологическите механизми на стрес и чрез съответна подготовка. Включването на **теории за мотивацията и стреса** позволява по-добро планиране на обучения и интервенции, насочени към изграждане на самоувереност и способност за действие под напрежение.

Ключов фактор в процеса на управление е ролята на **лидерството** - особено прилагането на трансформационно лидерство, което насърчава доверие, емоционална стабилност и съвместна отговорност в колектива. Не по-малко

значим е приносът на **организационната култура**, която чрез системна подготовка, тренировки и комуникационни стратегии създава среда на проактивност и доверие.

Основният извод е, че **интеграцията на психологическите и организационните аспекти** е не просто полезна, а необходима за ефективното управление на личната сигурност. Препоръчва се прилагане на междусекторни политики, които да включват:

- обучения, включващи симулации и моделиране на реални заплахи;
- изграждане на култура на сигурност още в ранните етапи на професионално развитие;
- институционализиране на мерки за психологическа подкрепа при инциденти;
- проучвания за измерване на устойчивостта и мотивацията в организации, изложени на риск.

В заключение, ефективната защита на индивида в извънредни ситуации изисква холистичен подход. Подход**, който обединява личната психическа устойчивост, подкрепяща организационна среда и компетентно лидерство**.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Чалдъков, Г. (2019). Психология на здравето. София: Изток-Запад.

[2] Burns, J. M. (1978). Leadership. New York: Harper & Row.

[3] Gray, J. (2021). The Psychology of Fear and Stress. London: Routledge.

[4] Leach, J. (2004). Why People 'Freeze' in an Emergency: Temporal and Cognitive Constraints on Survival Responses. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 75(6), 539–542.

[5] Leach, J. (2005). Cognitive paralysis in emergencies: The role of the leader. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 76(6), B65–B70.

[6] Mitroff, I. I., & Anagnos, G. (2001). Managing Crises Before They Happen: What Every Executive and Manager Needs to Know About Crisis Management. New York: AMACOM.

[7] Northouse, P. G. (2018). Leadership: Theory and Practice. 8th ed. Thousand Oaks: SAGE.

[8] Perry, B. D., & Szalavitz, M. (2017). The Boy Who Was Raised as a Dog. New York: Basic Books.

[9] Reeve, J. (2018). Understanding Motivation and Emotion. 7th ed. Hoboken: Wiley.

[10] Schein, E. H. (2010). Organizational Culture and Leadership. 4th ed. San Francisco: Jossey-Bass.

ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА БЕЗЖИЧНИ МРЕЖИ С ГОЛЯМ КАПАЦИТЕТ

Драгомир И. Василев

THEORETICAL FOUNDATIONS OF HIGH-CAPACITY WIRELESS NETWORKS

Dragomir I. Vasilev

ABSTRACT: *This paper discusses theoretical foundations of high-capacity wireless networks, focusing on semantic communication and super-resolution signal processing in future 6G systems. While Shannon's information theory addresses transmission accuracy, it does not formally incorporate semantic meaning, which is essential for autonomous machine-to-machine communication. Semantic models based on deep neural networks are considered as a means of compressing data into minimal logical representations. The study also examines super-resolution techniques that extend beyond the Shannon–Nyquist sampling principle. Approaches such as wavelet transforms, principal component analysis, and compressed sensing enable non-uniform sampling, improved spectral efficiency, and reduced energy consumption. The integration of semantic communication and super-resolution processing is identified as a key direction in the evolution of ultra-high-capacity 6G wireless networks.*

KEYWORDS: *Semantic communication, 6G, Super-resolution, Compressed sensing*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25DIV

Теория на семантичната комуникация

За да се даде формално определение на семантичната комуникация можем да дадем множество понятия за семантика, но до момента нито едно от тях не е напълно точно. Липсата на общоприето математическо определение на семантиката сериозно ограничава по-нататъшното развитие в тази област. Подобна теория на предаване и приемане на информация става необходима, когато се очаква семантичната комуникацията да протича без човешка намеса. В класическата теория на информацията не се разглежда значението на предаваното съдържание, тъй като винаги се предполага наличието на „човешки мозък“, който да го интерпретира. Когато интелигентни машини трябва да комуникират помежду си без човешка намеса те обменят информация, кодирана на собствен език (подобно на хората, използващи естествен език). Нов сценарий с прилагане на 6G технология може да бъде комуникацията между интелигентни машини. 6G може да не се въведе технологично в скоро време, но се очаква дотогава

машините да придобият значително по-усъвършенствани способности и композиционни умения.

Настоящото състояние на семантичната теория на информацията според Шанон и Уивър от 1949 г.: „Ако разглеждаме комуникацията в широк смисъл, се открояват проблеми на три равнища. Оттук възникват три последователни въпроса:

Ниво А. С каква точност могат да бъдат предадени символите на комуникацията? (Технически проблем).

Ниво В. С каква точност предаваните символи предават желаното значение? (Семантичен проблем).

Ниво С. Доколко ефективно полученото значение влияе върху поведението по желания начин? (Проблем на ефективността).“ [1]

Шанон и Уивър опитват да представят теорията на информацията като събирателна обхващаща синтаксис, семантика и прагматика, но общите резултати изглеждат разочароващи. Шанон разглежда уравненията като чисто технически модели за предаване на сигнали, а разширението на Уивър към въпросите за значението и ефективността изглеждат неуместно. Самият Шанон не е проявил особен интерес към семантичното значение на съобщението или към прагматичното му въздействие върху получателя, тъй като е бил донякъде предпазлив към масовото прилагане на своите математически уравнения към семантични и прагматични въпроси на междуличностната комуникация. От гледна точка на Шанон информацията се отнася до възможността за намаляване на неопределеността и това ни дава възможност да намалим ентропията.

Съгласуването между двете гледни точки може да бъде постигнато чрез прилагане на семантичен подход към теорията на информацията. Те предполагат, че всяко смислено твърдение е обединение на несъответстващи елементарни твърдения Z, които определят съдържанието на твърдение P като обединение на всички Z, така че отрицанието на Z се подразбира от твърдението P. По подобен начин могат да се разглеждат и невронните мрежи. Отговорите на зададените въпроси се появяват на изходния слой на обучена невронна мрежа, а логическото съдържание се максимизира именно на този изходен слой. Дори ако „обикновеното“ (несемантично) изкривяване на изхода е много голямо все пак ни дава това, което ни е необходимо. Да предположим, че невронна мрежа е обучена да разпознава предмет в изображение. Логиката, свързана с тази невронна мрежа е много проста, един тип (Предмет), липса на композиционност и едно твърдение:

$$\{\text{x}, T_x \in \text{Предмет}\}$$

където: x е входното изображение,

T означава True (истина).

Следователно записът $\{x, T_x \in \textit{Предмет}\}$ означава, че изображението x представя предмет.

Разбира се невронната мрежа е обучена върху набор от данни подбрани от хора и представляващи контекста. Истината е относителна, семантичното съобщение ще предава само един бит, съответстващ на твърдението „това е

предмет“ – Истина (1) или Лъжа (0). По този начин дълбоката невронна мрежа (DNN) може да се разглежда като кодер на семантичен източник, който кодира едно изображение в един бит.

В по-сложни ситуации невронната мрежа може да отговаря на множество въпроси, като използваният език може да съдържа няколко изречения и няколко типа, конюнкции и дизюнкции. Невронната мрежа може да компресира данните и да ги преобразува в изречения, изискващи значително по-малък брой битове. Очевидно е, че получаването на семантична информация не е лесно, най-вече поради липсата на подходящи математически инструменти. За дефиниране на информационните мерки от *Ниво А,* Шанон използва аксиоматичен подход: „Тази теорема и предположенията, необходими за нейното доказване, по никакъв начин не са необходими за настоящата теория. Те са дадени главно, за да придадат известна правдоподобност на някои от нашите по-късни определения. Истинската обосновка на тези определения ще се състои в изводите, които произтичат от тях.“ Получените изводи показват, че той е бил прав и че в този случай скаларни величини като ентропията и взаимната информация са достатъчни и успешни. Разширяването на този аксиоматичен подход към семантичния случай досега не е било точно и изглежда, че връзките между различните гледни точки към ентропията (алгебрични, вероятностни, комбинаторни или динамични) все още са слабо изследвани. Това е основната мотивация за въвеждането на категоризирана структура като формализъм, достатъчно общ за интегриране на различни теории, считайки че това може да доведе до теория на семантичната информация. Използвайки такава структура са открити „не шанънови“ информационни мерки, като ентропията на Tsallis, квантовата ентропия или комбинаторната теория на информацията при която вероятностите са заменени с честоти. [2] [3]

Отправната точка е дефинирането на понятието *информационна структура*. Това е двойка (*S, E*), където, *S* е категория, представяща променливите, морфизмите в *S* се задават чрез обуславяне, а *E* е ковариантна функция от *S* към категорията на измеримите пространства. По този начин между информационните структури се дефинират морфизми, за създаване на такива структури. В съвременната топология пространствата се изучават чрез тяхната хомогенност, която до известна степен кодира техните форми. [4]

В бъдеще 6G ще стимулира възникването и развитието на множество технологии в тясна връзка с теорията на семантичната комуникация, като например съвместното кодиране на източника и канала, и компресирането на източника.

Теория на свръхразделителната обработка на сигнали в 6G безжични мрежи с ултрависок капацитет

Теорията за свръхразделителната обработка на сигнали се отнася до представянето на изходната информация по такъв начин, че тя да може да бъде възстановена възможно най-близо до първоначалната си форма [5].

Възникнали загуби от събития като импулсни смущения и прекъсвания могат да бъдат възстановени със свръхвисока разделителна способност с

безкрайна точност само от няколко нискочестотни извадки чрез решаване на удобни сепарабелни изпъкнали задачи (изпъкнало програмиране). Приложението на свръхвисоката разделителна способност е допълнителното повишаване на разделителната способност отвъд физическите ограничения на сензорната система. Свръхрезолюцията може да се използва и в други случаи, когато е желателно да се екстраполират детайли с малък мащаб от данни с ниска разделителна способност или да се разрешат субпикселни детайли (например при сондиране). В безжичните комуникации предаваните сигнали обикновено достигат до приемника по няколко пътя поради възникнали отражения от обекти. Да предположим, че: *h(t)* е предаваният сигнал, $z(t)$ – характеристиката на канала, а d_i и t_i – амплитудата и закъснението в *i*-тия тракт, тогава приетият сигнал във времевата област може да се представи по следния начин:

$$x(t) = z(t).h(t) = \sum_{i=1}^{r} d_i h(t - t_i)$$

където: *r* - брой на пътищата, които по-нататък ще наричаме моди (mode). Използвайки преобразуването на Фурие, можем да представим сигнала в спектралната област по следния начин:

$$x(f) = z(f).h(f) = \sum_{i=1}^{r} d_i h(f) e^{j2\pi f t_i}$$

където: *h(f)* - предаваният сигнал е известен априори, наблюдаваните данни могат да бъдат изразени като:

$$\frac{x(f)}{z(f)} = \sum_{i=1}^{r} d_i h(f) e^{j2\pi f t_i} \ \forall d: h(f) \neq 0$$

Накрая можем да получим класическия модел за оценка на параметрите в теорията за свръхвисоката разделителна способност, който представлява смес от сигнали от *r* моди:

$$x[t] = \sum_{i=1}^{r} d_i \psi(t; f_i) \qquad t \in \mathbf{Z},$$

където: d_i – амплитуда;
f_i – честота;
ψ – (известна) модална функция, например ψ(t;f_i)= e^(j2πft_i);
r – броят на модите или редът на модела.

Първата широко използвана теория е теоремата за дискретизацията на Шанон–Найкуист, която изисква честотата на дискретизация да бъде най-малко два пъти по-висока от максималната честота на изходната информация. Този критерий е известен като честота на дискретизация на Найкуист и гарантира тъждествеността и цялостта на възстановената информация. Теоремата се основава на преобразуванията на Фурие, които линейно преобразуват изходната информация, съдържаща безкраен брой косинусоидални вълнови базиси. Чрез преобразуването на Фурие, сигнал или последователност във времето могат да бъдат представени като сума от проекции (скаларни произведения) върху безкраен брой базиси. Честотата на дискретизация на Найкуист осигурява еднаква разделителна способност за всички проекции. [6]

Теоремата за извадката на Шанон–Найкуист дълго време доминира в разработването на комуникационни системи. Тя показва каква честотна лента е необходима за надежден трансфер на кодирана информация. През последните четири десетилетия обаче станахме свидетели на огромно нарастване на заетата честотна лента в радиокомуникациите благодарение на новите поколения безжични мрежи. Честотната лента става все по-скъпа, а носещите честоти – все по-високи, което допълнително стимулира изследването на теорията за свръхвисока разделителна способност.

Ако говорим за източника на сигнала, възниква въпросът дали наистина е необходимо сигналът или информацията да се представят еднородно в съответствие с най-високочестотната им съставка. Този въпрос може да се раздели на два подвъпроса: необходимо ли е равномерно разрешение и нужно ли е постоянно да се спазва честотата на дискретизация на Найкуист.

Равномерно или неравномерно разпределение на честотната лента. За да решим трябва да разгледаме източник или сигнал, чийто приемник или декодер извлича и използва само част от честотните му компоненти. Пример за тази концепция е видеопотокът, при който човешкото зрение обръща повече внимание на предния план, отколкото на фона. Съответно предният план се състои от високочестотни компоненти, а нискочестотните се отнасят към фона. В този сценарий е по-логично и по-ефективно да се използва по-висока разделителна способност за предния план, вместо да се прилага равномерно разрешение.

Това съображение поставя началото на втора група широко използвани теории: метод на главните компоненти; прозоречното преобразуване на Фурие; уейвлети (Wavelets). Методът на главните компоненти използва разлагане по сингулярни вектори за разделяне на компонентите. За разлика от преобразуването на Фурие, при него като нова координатна система се използва лявата или дясната собствена матрица а не базисът на Фурие. JPEG форматът прилага метода на главните компоненти за разделяне и съхраняване на основните компоненти, MIMO технологията също използват този метод за детектиране на основните слоеве. Въпреки това методът на главните компоненти губи част от информацията поради равномерното разрешение съгласно принципа на неопределеността на Heisenberg. При широколентов сигнал равномерното разрешение дава предимство на едни части, но влошава други. За да се реши този проблем, Gábor първоначално предлага прозоречното преобразуване на Фурие, а впоследствие и уейвлетите за

реализиране на многократно разпределение. Някои изследователи дори предлагат да се замени OFDM с уейвлет преобразуване при широколентови сигнали. [7]

Равномерна или неравномерна честота на дискретизация. Трябва да отчетем факта, че високочестотните компоненти на изходния сигнал могат да бъдат игнорирани от приемника или да нямат съществено значение за него. Най-очевидният пример е цифровизацията на звука за предаване. Тъй като човешкото ухо възприема звук само до честота 20 kHz, всичко над този праг е безсмислено за хората. Следователно няма смисъл да се отчита висококачествен аудиосигнал извън този диапазон. В този смисъл за цифровизация на реч с добро качество е достатъчна честота на дискретизация 8 kHz. Това съображение поражда трета широко използвана теория – теорията на разредената (компресирана) дискретизация, която се основава на разредеността на естествената информация. Например изходната информация x, макар и да не е разредена в собственото си пространство, може да бъде линейно преобразувана в разредено представяне s само с K ненулеви елемента в новата координатна система. Преобразуването може да бъде бързо преобразуване на Фурие, дискретно преобразуване на Фурие или уейвлети (Wavelets), както беше споменато по-горе. За тази разредена информация x случайна матрица с размер M×N (известна като матрица на измерванията) определя M($K<M\ll N$) случайни точки на дискретизация, за да се извърши извадка на x във вектор y с размер M×1. Очевидно y е дискретизиран неравномерно и честотата му на дискретизация е значително по-ниска от удвоената максимална честота. От страната на декодирането компресираната извадка използва L1-норма, а не L2-норма, за да отхвърли отклоненията, като за аппроксимация на разредения вектор могат да се използват методите matching pursuit или orthogonal matching pursuit. Компресираната дискретизация премахва необходимостта от честотата на Найкуист при извадката на информация или сигнали, които по своята природа са разредени. В 6G технологията могат да използват схеми за неоднородна случайна дискретизация с цел значително спестяване на радиочестотна лента. [8] [9] [10]

Заключение

През последните 40 години станахме свидетели на това, че неравномерното разпределение в много отношения е по-добро от равномерното, а неравномерната дискретизация е по-ефективна от равномерната в случаи на кодиране в източника или компресия на изображения. Теорията за свръхразделителната обработка на сигнали обединява както неоднородното разпределение, така и неоднородната дискретизация и може да бъде използвана в много области на 6G. [5]

Кодирането от страната на източника, е свързано не само с използване на голям брой свързани към 6G системите приемници, но може и да се прилага свръхразделителната обработка, отколкото в алгоритмите, а за пестене на честотна лента стратегията за кодиране на източника с множество нива на разделителна способност може гъвкаво да се адаптира към различните свойства на обекта, например неравномерната дискретизация с ниска консумация на енергия. Широколентовите системи 6G може да създават проблеми при

динамичното квантуване, а спазването на критерия за дискретизация на Найкуист ще доведе до огромна консумация на енергия. Ако изходната информация по своята природа е разредена, става възможна неравномерна дискретизация с ниска енергийна консумация за намаляване на разхода на енергия. Тази теория може да окаже влияние върху направленията на развитие на множество технологии, включително алгоритмите за локализация, компресирана дискретизация и алгоритмите за безжична визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

[1] C. E. Shannon and W. Weaver, The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, 1949.

[2] P. Baudot and D. Bennequin, The homological nature of entropy, Entropy, vol. 17, no. 5, pp. 3253–3318, 2015.

[3] J.-P. Vigneaux-ariztia, Topology of statistical systems: A cohomological approach to information theory, thesis, Max Planck Institute for Mathematics in the Sciences, Max Planck Society, 2019.

[4] S. Awodey, Category theory. Oxford University Press, 2010.

[5] E. J. Candès and C. Fernandez-Granda, Towards a mathematical theory of superresolution, Communications on Pure and Applied Mathematics, vol. 67, no. 6, pp. 906–956, 2014.

[6] H. Nyquist, Transmission systems for communications, AT&T Technical Journal, vol. 2, p. 26, 1959.

[7] I. T. Jolliffe, Principal component analysis (Second Edition). Springer, 2002.

[8] D. L. Donoho, Compressed sensing, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 52, no. 4, pp. 1289–1306, 2006.

[9] E. J. Candes, J. K. Romberg, and T. Tao, Stable signal recovery from incomplete and inaccurate measurements, Communications on Pure and Applied Mathematics, vol. 59, no. 8, pp. 1207–1223, 2006.

[10] R. G. Baraniuk, Compressive sensing [lecture notes], IEEE Signal Processing Magazine, vol. 24, no. 4, pp. 118–121, 2007.

RESPONSIBLE GEODESY: ETHICAL AND SUSTAINABLE MODELS FOR THE DIGITAL TRANSFORMATION OF GEODESY

Ani A. Stefanova

ABSTRACT: *This study presents the conceptual framework of "Responsible Geodesy, " which integrates technological innovations with ethical standards and sustainable practices. Automation, artificial intelligence (AI), IoT, and sensor networks enhance the accuracy and efficiency of geodetic operations but also pose challenges such as algorithmic opacity, data protection, and cybersecurity. The framework combines technological efficiency with transparency, equal access to data, energy efficiency, and minimization of the carbon footprint, aligning with international standards and sustainable development goals. It provides an integrated approach to socially, environmentally, and technologically responsible digital geodesy, applicable in practical operations, strategic management, and the development of sustainable geospatial systems.*

KEYWORDS: *Digital geodesy, Ethics, Sustainable development, Geospatial data, Interoperability, AI, IoT*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25AAS

1. Introduction

The digital transformation is significantly changing geodetic practices through automation, cloud platforms, smart sensors, and algorithms for analyzing large volumes of data [21]. These technologies provide opportunities for more precise measurements, efficient management of geospatial information, and improved operational organization.

However, their widespread adoption also poses new challenges, including the protection of personal data and location privacy, transparency of algorithmic decisions, and sustainable use of resources [10], [21]. Balancing technological advancement with responsible application requires an integrated approach that combines efficiency with ethical and environmental standards.

The concept of "Responsible Geodesy" offers a framework for integrating technological, social, and environmental dimensions, aiming not only to enhance operational efficiency but also to strengthen trust, ensure equal access to data, and promote sustainable management of territories and infrastructure [19]. The following sections examine technological solutions, ethical and social principles, and sustainable practices that illustrate the application of this framework in real geodetic operations.

2. Technological dimensions of digital transformation

Automation and digital workflows

Automation in geodesy includes GNSS/RTK systems, robotic instruments, and drones, which improve measurement accuracy and productivity. Large data volumes

are centrally processed through cloud platforms, enabling real-time visualization and workflow optimization [6], [28].

A notable example is the *Dronument* project, which employs autonomous UAVs for the safe documentation of historical buildings, including hard-to-access areas. This approach eliminates the need for scaffolding, reduces physical interference, and lowers the carbon footprint [14]. When using autonomous UAVs, ensuring flight and data-collection control, as well as the protection of cultural heritage, is essential. Repeated autonomous flights support long-term sustainability without requiring additional infrastructure.

Modern automation and cloud-based processing form an integrated digital workflow that transforms raw spatial data into analytical insights and final geodetic products (Fig. 1). This workflow illustrates the operational sequence from data acquisition to analysis, visualization, and reporting, demonstrating how digital technologies enhance efficiency, transparency, and decision-making in contemporary geodesy.

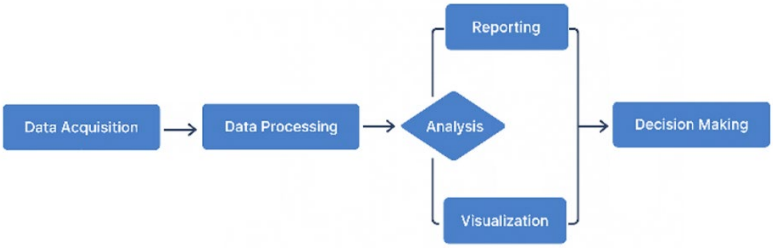


Fig. 1. *Digital geodesy workflow*

Artificial intelligence (AI)

AI and machine learning support the classification and analysis of geospatial data collected from drones and sensor networks, modeling infrastructure risks and forecasting environmental changes. However, large AI models consume significant energy, and the opacity of algorithms may undermine trust in decision-making processes [15], [17].

AI systems are vulnerable to adversarial attacks—deliberately modified input data that mislead the algorithm—as well as uncertainty in outputs, which is critical in early warning applications [27]. Algorithm optimization and the use of cloud platforms powered by renewable energy can reduce the carbon footprint, ensuring a balance between efficiency, transparency, and responsible technology use.

Internet of things (IoT) and sensor networks

The Internet of Things (IoT) and spatially distributed sensor networks enable monitoring of terrain deformations, structural loads, and climate changes, providing early warning for natural and infrastructure-related risks [6]. An experiment with an intelligent network of CO_2 sensors for wildfire early warning demonstrated that AI models such as AutoEncoder and LSTM detect anomalies faster and more reliably than classical threshold-based systems [4]. Although this experiment is not geodetic, it

illustrates the principles of spatially distributed sensors and intelligent data processing, which can be applied to monitoring deformations, infrastructure, and terrain changes.

Intelligent IoT networks allow continuous data collection and rapid response to anomalies, while ensuring data encryption and strict access control to protect personal information and maintain public trust [6]. This approach demonstrates how AI and IoT can be integrated with geodetic monitoring in an ethical and sustainable way, enhancing the safety and efficiency of infrastructure and the environment.

Technological risks and sustainability

Technological solutions must be integrated with sustainable and socially responsible practices to ensure long-term reliability and societal benefit. Key aspects include:

— Energy efficiency: algorithm optimization and the use of renewable energy;

— Social justice and trust: transparency and explainability of AI algorithms;

— Ethical responsibility: deployment of autonomous UAVs and IoT sensors with institutional approval and data protection.

Table 1. *Technologies in digital geodesy: key advantages, risks and practices*

Technology	Advantages	Risks	Recommended Practices
Automation (GNSS/RTK, robotic instruments)	Improved accuracy; Optimized workflows;Real-time processing	Technology dependency; Potential errors if not properly controlled	Regular calibration and system checks; Integration with energy-efficient and sustainable processes
Drones (UAVs)	Access to hard-to-reach areas; Minimal physical impact on objects; Reduced carbon footprint	Privacy and geo-privacy concerns; Environmental impact on wildlife	Obtain institutional authorization; Anonymize and secure collected data; Optimize flight paths and mission planning
Artificial Intelligence (AI/ML)	Automated processing of large datasets; Risk modeling and forecasting;Support for intelligent territorial management	Algorithmic opacity and bias; High energy consumption; Vulnerable to attacks or errors	Optimize algorithms for energy efficiency; Ensure transparency and explainability;Use cloud platforms powered by renewable energy
IoT and Sensor Networks	Continuous environmental and infrastructure monitoring; Early anomaly detection; Integration with AI for faster analyses	Cybersecurity vulnerabilities; Privacy concerns	Encrypt data and enforce strict access control; Maintain network reliability and integrity; Use energy-efficient sensors with sleep/adaptive modes

Table 1 summarizes the major technological solutions, highlighting their advantages, associated risks, and recommended practices for responsible implementation. Figure 2 illustrates how these technologies interact with ethical and sustainable dimensions within a comprehensive framework for responsible digital geodesy.

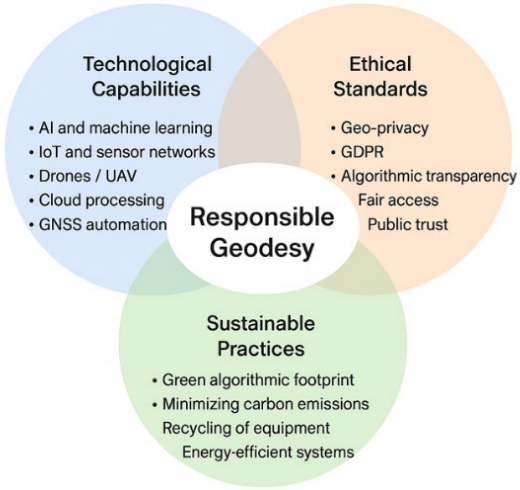


Fig. 2. *Conceptual model of "Responsible Geodesy"*

The model in Figure 2 provides an overview of the framework that structures the technological, ethical, and sustainable dimensions discussed in the following sections. It highlights the need for integrating innovation, transparency, and environmental responsibility to ensure reliable and socially responsible geodetic practices.

Case studies demonstrate that, although digital transformation offers significant technological potential, achieving socially and environmentally responsible outcomes requires balancing efficiency, transparency, and sustainability. The next section examines the ethical and social dimensions essential for this integrated approach.

Conceptual Demonstration of Responsible Geodesy

To illustrate the practical application of the "Responsible Geodesy" framework, a conceptual pilot example based on published technologies and methods is presented. Data collected via drones and IoT sensor networks can be used to monitor urban and historical sites, including parameters such as structural loads and CO_2 concentrations [4], [6], [14]. Processing through cloud-based AI workflows, optimized for energy efficiency and transparency, enables anomaly detection and terrain deformation analysis without repeated on-site visits [7], [15].

This conceptual example serves as a proof-of-concept for the "Responsible Geodesy" framework, demonstrating its potential for application in real urban and

historical projects. By creating digital twins of objects, it allows simulations of different management scenarios, resource optimization, and assessment of environmental impacts in accordance with ethical and sustainable standards [4], [6], [14], [15].

The framework provides an integrated approach that links the conceptual model with practical workflows in digital geodesy, offering a foundation for future empirical research and field experiments [7], [15]. In this way, the concept of "Responsible Geodesy" proves applicable and adaptable to real geospatial cases, providing tools for safe, ethical, and sustainable management of data and infrastructure.

3. Ethical and social dimensions in contemporary geodesy

Data protection and geo-privacy

Modern geodetic activities generate data that may be classified as personal or sensitive, including drone imagery and coordinates of private properties. This necessitates the implementation of data protection measures and compliance with regulations such as the GDPR to ensure privacy and maintain public trust [10]. Ethical data collection, anonymization during analyses, and strict access control to sensitive 3D models enable a balance between technological advancement and social responsibility.

Transparency, trust, and accountability

Transparency in the processing of geospatial data is essential for the reliability of geodetic analyses and for maintaining public trust [3], [17]. Algorithmic methods must be understandable and verifiable in order to prevent errors and improper interpretations. Clear documentation and control mechanisms enable independent verification of results, which is crucial for the ethical and sustainable application of digital technologies.

Technologies developed in other domains—for example, intelligent models for early detection of risk events [4]—highlight the necessity for AI-driven decisions to be traceable and clearly documented. For geodesy, this means that each stage of data processing should be accompanied by clear documentation and control mechanisms, ensuring that the results are defensible and transparent. An approach grounded in accountability and transparency is essential for the ethical, reliable, and sustainable application of modern digital technologies in geodetic practice [17].

Social justice and equity

Geospatial data are not inherently neutral: their availability, quality, and accessibility can create or exacerbate social inequalities, with certain groups benefiting less from digital geospatial infrastructure [23], [24]. Consequently, measures should be taken to ensure equitable access to geodata, minimize the digital divide, and leverage geodetic technologies for sustainable resource distribution. International guidelines, such as the UN-GGIM report [25], support the development of fair and inclusive geospatial ecosystems that guarantee equity and information access for all social groups.

Ethics in the use of drones and sensor technologies

Drones and sensor networks offer significant opportunities for monitoring and data collection, but they also raise ethical concerns. These include surveillance of private properties, large-scale data collection, and potential violations of participant privacy. It is recommended that drones and sensor technologies be used only with approval from relevant institutions, with data anonymization implemented, and with full transparency regarding the purpose and scope of monitoring to ensure operational trust and ethical integrity [4], [14]. As demonstrated above, autonomous UAVs can be deployed ethically while minimizing risk to people and assets.

Overall, ethical considerations—including data privacy, transparency, and equitable access—are essential for responsible geodesy. Integrating these principles ensures that technological innovation serves societal needs without compromising trust or social justice.

4. Sustainable models and environmental aspects in geodesy

Sustainability has become a key consideration in contemporary geodetic technologies. While digitalization optimizes measurement and modeling processes, it also introduces environmental challenges related to energy consumption, material resources, and impacts on natural ecosystems [5], [16]. In this context, sustainable practices are essential for the responsible management of technological innovations.

Environmental impact of technologies

Modern geodetic systems influence the environment on several critical levels. First, the processing of large volumes of geospatial data and the operation of cloud infrastructures demand substantial computational resources, increasing the sector's energy footprint [16]. Additionally, drone operations in sensitive ecosystems can disturb wildlife, particularly birds and mammals, if flight missions are not carefully planned [18]. Furthermore, the production and disposal of geodetic equipment — including GNSS receivers, sensors, and drones — generate electronic waste that requires specialized management and recycling to prevent environmental hazards [14].

Practices for sustainable digitalization

To reduce the environmental impact of digital transformation, sustainable practices are applied, including:

— Energy-efficient algorithms: Optimized geospatial data processing reduces energy use and carbon footprint [5], [6], [15];

— Smart IoT networks: Sensor networks with sleep modes and adaptive transmission enable continuous monitoring with minimal resources [6], [4];

— Drone flight optimization**:** Missions are planned to minimize impact on sensitive ecosystems and historical sites [14], [18];

— Extended equipment life: Repair, recycling, and reuse of GNSS receivers, sensors, and drones lower electronic waste [14], [16];

— Renewable energy use: Solar or other renewable sources power digital systems and cloud platforms, reducing greenhouse gas emissions [5], [15].

Digital twins and simulation models further allow repeated analyses without physical visits, cutting transportation emissions [7]. Together, these approaches ensure efficient, innovative, and environmentally responsible digital geodesy, supporting sustainable management of territories, infrastructure, and natural resources.

The role of geodesy in sustainable development

Geodetic data play a pivotal role in the sustainable management of territories and natural resources, enabling:

— monitoring of climate change through satellite imagery and LiDAR measurements;

— management of water resources during droughts and extreme weather events;

— spatial risk analysis for natural hazards such as floods, landslides, and earthquakes;

— adaptive infrastructure management using digital models and simulations;

— strategic territorial planning based on accurate and interoperable geospatial data [8].

These applications illustrate how digital geodesy can contribute to sustainable development and environmentally responsible management, aligning with contemporary global priorities.

Sustainable practices in digital geodesy are not only technical measures but a strategic element of responsible digitalization. They align technological innovation with environmental and social priorities, ensuring that progress remains compatible with resource limitations and societal needs. Within this framework, responsible geospatial technology provides a basis for integrating innovation with resource conservation and the public interest. Thus, sustainable approaches in digital geodesy both reduce environmental impact and strengthen the role of geospatial data in climate adaptation, resource management, and long-term territorial planning.

5. Critical challenges in digital geodesy

Despite progress toward models of responsible geodesy, digital transformation continues to face significant challenges that hinder its full and sustainable implementation. These challenges are regulatory, organizational, and technical, including system interoperability, cybersecurity, and the protection of sensitive geospatial data.

Regulatory and legal constraints

A key challenge is the gap between the rapid pace of technological development and the slower adaptation of legal frameworks. Differences between national and international regulations complicate cross-border geodetic activities, the use of drones, and cloud-based data storage [11]. Insufficient harmonization creates uncertainty in the adoption of innovations and hinders the implementation of ethical and sustainable practices.

Interoperability and standards

Effective digitalization requires unified formats, open interfaces, and standardized metadata that enable information exchange across platforms. Despite advancements in initiatives such as INSPIRE [11] and standards ISO 19157 and ISO 19115-1, interoperability between BIM, GIS, and IoT systems remains challenging [12], [13]. Without consistent data models, integrated digital ecosystems are difficult to achieve.

Cybersecurity

The expansion of digital processes increases exposure to cyber risks. Geodetic systems can be vulnerable to GNSS interference and spoofing, attacks on cloud platforms, and compromise of sensor networks, threatening the accuracy and reliability of geospatial data [1], [26]. These vulnerabilities highlight that a reliable geodetic infrastructure is impossible without a strategic cybersecurity approach, which is a central component of responsible geodesy.

In the Bulgarian context, challenges related to digital geodesy are particularly evident in the integration of cadastral data with municipal GIS systems. The lack of unified standards and varying update cycles result in inconsistencies that hinder interoperability, despite the requirements of the European INSPIRE Directive [11]. Additionally, EASA regulations concerning the operation of unmanned aircraft systems [9] restrict flights over urban and protected areas, affecting geodata collection for infrastructure projects. Compliance with GDPR [22] also presents challenges in managing spatial data containing personal information, particularly in the context of open municipal portals and 3D city models. These examples demonstrate that technological capabilities in Bulgaria often outpace regulatory readiness, emphasizing the need for harmonized standards and ethical frameworks for responsible digital geodesy.

Qualifications and education

Digital transformation requires a new geodesist profile that combines traditional surveying skills with competencies in programming, big data processing, ethics, and sustainable process modeling [24]. An interdisciplinary approach is critical for the successful integration of technological, ethical, and sustainable practices into daily geodetic operations.

6. Development prospects and recommendations

Ethical standards and green protocols

At the national level, it is necessary to develop ethical standards for handling geospatial data that ensure protection, transparency, and responsible use of information. Simultaneously, the expansion of green digital protocols, including energy-efficient data processing and optimized UAV operations, is crucial for minimizing the ecological

footprint [6]. These practices provide a balance between technological advancement and sustainable resource utilization.

Artificial intelligence for sustainable management

The integration of AI supports adaptive territorial management, risk modeling, and strategic planning in the context of climate change. The use of intelligent algorithms allows resource optimization and reduces the need for repeated field visits [2], [7], [27]. This approach minimizes the carbon footprint of geodetic operations and contributes to the sustainable management of infrastructure and natural resources.

Open and equitable geodetic platforms

Developing open, interoperable, and equitable geodetic platforms facilitates data access, increases public engagement, and supports social equity [25]. Such platforms form the foundation of intelligent and sustainable territories, including Smart Cities and Eco-Cities, where high-quality geospatial data enable informed decision-making and equitable access for all stakeholders.

Education and professional development

University programs and professional training must be updated to emphasize programming, AI, sustainable technologies, and spatial data ethics, preparing future experts for the integrated management of digital and sustainable geodetic practices [24]. An interdisciplinary approach is critical for cultivating competent specialists capable of applying the principles of responsible geodesy in daily practice.

Final integration within the responsible geodesy framework

The overarching framework of these recommendations emphasizes that technological innovations must be implemented alongside ethical standards, green practices, and social equity. Only through this integrated approach can digital geodesy be sustainable, reliable, and socially and environmentally responsible, solidifying the concept of responsible geodesy as central to contemporary practice.

7. Conclusion

The digital transformation of geodesy is establishing new standards in measurement accuracy, operational efficiency, and analytical capacity. The integration of UAV technologies, IoT networks, and artificial intelligence significantly enhances geodetic operations but also requires careful attention to ethical considerations, data protection, cybersecurity, and sustainable resource use. The “Responsible Geodesy” framework provides a comprehensive approach that balances technological innovation with social, environmental, and ethical responsibilities, ensuring transparent, equitable, and sustainable practices.

By applying this framework, surveyors, municipal authorities, and geospatial institutions can implement digital workflows that not only improve operational efficiency but also reinforce public trust, minimize environmental impact, and promote

responsible management of territories and infrastructure. Future research should focus on assessing the carbon footprint of geodetic processes, developing transparent and explainable AI algorithms, strengthening cybersecurity for GNSS, IoT, and cloud platforms, and exploring the integration of digital twins for sustainable infrastructure management. In the Bulgarian context, key priorities include enhancing interoperability between cadastral and municipal GIS systems and establishing ethical protocols for UAV and sensor technologies.

Overall, "Responsible Geodesy" provides a practical, adaptable, and forward-looking framework that guides the integration of technology, ethics, and sustainability in contemporary geospatial practice, supporting informed decision-making and long-term territorial stewardship.

REFERENCES

[1] Bakici S., Erkek B., Manti V., Altekin A. Challenges in data communication and cyber security of TUSAGA Aktif (CORS Tr). Proceedings of FIG Congress, Istanbul, Turkey, 2018.

[2] Budennyy S., Lazarev V., Zakharenko N., Korovin A., Plosskaya O., Dimitrov D., Barsola I. Eco2AI: Carbon emissions tracking of machine learning models as the first step towards sustainable AI. arXiv, 2022.

[3] Craglia M., de Bie K., Jackson D., Pesaresi M., Remetey Fülöpp G., Wang C., Woodgate P. Digital Earth 2020: Towards the vision for geospatial information. International Journal of Digital Earth, Vol. 5, No. 1, 2012, 4–21.

[4] De Rango A., Furnari L., Cortale F., Senatore A., Mendicino G. Wildfire early warning system based on a smart CO_2 sensors network. Sensors, Vol. 25, No. 7, 2025.

[5] Dimian G. C., Maftei M., Jablonský J., Marin E., Olaru S. M. The influence of digitalization on greenhouse gas emissions in European Union: The analysis of mediating effect of renewable energy consumption. Journal of the Knowledge Economy, 2025.

[6] Doran J., Smith A., Kumar R. Automation and IoT in modern geodesy: Efficiency, ethics, and sustainability. Geospatial Technology Review, Vol. 29, No. 1, 2025, 112–135.

[7] Doran N. M., Badareu G., Siminică M. I. Integrating geospatial intelligence and digital transformation for advancing environmental sustainability in emerging EU economies. Applied Sciences, Vol. 15, No. 7, 2025, 3444.

[8] European Environment Agency. Environmental spatial data: What is happening where? EEA Article, 2014.

[9] European Union Aviation Safety Agency. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft. Official Journal of the European Union, L 152/45, 2019.

[10] Georgiadou Y., de By R. A., Kounadi O. Location privacy in the wake of the GDPR. ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 8, No. 3, 2019, 157.

[11] INSPIRE Directive. Directive 2007/2/EC establishing an infrastructure for spatial information in the European Community. Official Journal of the European Union, 2007.

[12] ISO. ISO 19157: Geographic information — Data quality. International Organization for Standardization, 2013.

[13] ISO. ISO 19115-1: Geographic information — Metadata — Part 1: Fundamentals. International Organization for Standardization, 2014.

[14] Krátký V., Petráček P., Nascimento T., Čadilová M., Škobrtal M., Stoudek P., Saska M. Safe documentation of historical monuments by an autonomous unmanned aerial vehicle. ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 10, No. 11, 2021, 738.

[15] Lannelongue L., Grealey J., Inouye M. Green algorithms: Quantifying the carbon footprint of computation. Advanced Science, Vol. 8, No. 21, 2021, 2100707.

[16] Malmodin J., Lundén D. The energy and carbon footprint of the global ICT and E&M sectors 2010–2015. Sustainability, Vol. 10, No. 9, 2018, 3027.

[17] Micheli M., Gevaert C. M., Carman M., Craglia M., Daemen E., Ibrahim R. E., Vespe M. AI ethics and data governance in the geospatial domain of Digital Earth. Big Data & Society, Vol. 9, No. 2, 2022.

[18] Mulero Pázmány M., Jenni Eiermann S., Strebel N., Sattler T., Negro J. J., Tablado Z. Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. PLoS ONE, Vol. 12, No. 6, 2017.

[19] Nelson T. A., Goodchild M. F., Wright D. J. Accelerating ethics, empathy, and equity in geographic information science. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 119, No. 19, 2022.

[20] OECD. Promoting ethical and responsible use of geospatial data. OECD Geospatial Lab, 2023.

[21] Oluoch I. Crossing boundaries: The ethics of AI and geographic information technologies. ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 13, No. 3, 2024, 87.

[22] Regulation (EU) 2016/679 on the protection of natural persons regarding personal data processing (General Data Protection Regulation – GDPR). Official Journal of the European Union, L 119/1, 2016.

[23] Shaham S., Ghinita G., Shahabi C. Models and mechanisms for spatial data fairness. arXiv, 2022.

[24] Sui D., DeLyser D. (Eds.). The Routledge handbook of GIS and society. Routledge, 2021.

[25] United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM). Future trends in geospatial information management: The five to ten year vision. United Nations, 2020.

[26] Xu C., Zhang J., Zhang Z., Hou J., Wen X. Data and service security of GNSS sensors integrated with cryptographic module. Micromachines, Vol. 14, No. 2, 2023, 454.

[27] Xu L., Bai Y., Yu H., et al. AI security for geoscience and remote sensing: Challenges and future trends. arXiv, 2022.

[28] Zhang Z., Zhu L. A review on unmanned aerial vehicle remote sensing: Platforms, sensors, data processing methods, and applications. Drones, Vol. 7, No. 6, 2023, 398.

COGNITIVE LOAD AND BEHAVIORAL FACTORS IN THE ASSESSMENT OF MOTOR VEHICLE DRIVERS

Tsvetoslav S. Tsankov

ABSTRACT: *This paper examines the practical driving test as a pedagogical situation located at the transition between guided instruction and independent performance. Rather than treating the test as an isolated assessment event, it is conceptualized as part of a continuous process of technological driver education in which learning, practice, and evaluation are structurally and psychologically interconnected. The analysis focuses on how pedagogical organization, instructional continuity, and examiner–candidate interaction influence candidates' ability to demonstrate already acquired driving competencies under conditions of real traffic and examination pressure. Within this framework, phenomena such as test anxiety, cognitive overload, and performance instability are interpreted not as individual deficits, but as indicators of unresolved pedagogical transitions. Drawing on concepts from technological education and activity-oriented pedagogical psychology, the paper argues that mismatches between instructional design and assessment practice play a decisive role in examination performance. The practical driving test is thus understood as a culminating learning situation whose quality depends on the coherence between training and assessment, providing a conceptual basis for future empirical research and the refinement of driver education practices.*

KEYWORDS: *Technological driver education, Pedagogical continuity, Psychological readiness, Practical driving test, Learning transition, Cognitive load, Examiner–candidate interaction, Road safety*

DOI: https://doi.org/10.46687/YT25CEC

1. Introduction

In contemporary driver education systems, the practical driving test is commonly positioned as a formal mechanism for verifying compliance with predefined technical and behavioral standards. Regulatory frameworks tend to describe in detail the structure of training, examination routes, and assessment criteria, thereby framing the test primarily as an objective and procedural endpoint of instruction. From the learner's perspective, however, this moment often represents a qualitatively different situation, in which previously familiar patterns of guidance, communication, and task execution are fundamentally altered.

While regulatory documents specify the technical and procedural aspects of both training and testing with considerable precision, they rarely address how candidates experience the transition from instructional settings to examination conditions. The moment at which guided learning is replaced by formal evaluation is often treated as self-evident, requiring no additional pedagogical mediation. This implicit assumption overlooks the qualitative shift in demands placed on the learner when instructional

support, communicative patterns, and expectations change simultaneously. Empirical observations from driver training and examination practice show a recurring discrepancy between candidates' performance during instruction and their behavior in examination settings. Learners who demonstrate stable control, situational awareness, and decision-making during training frequently exhibit hesitation, reduced coordination, or fragmented actions when subjected to formal assessment. Such variations in performance suggest that examination difficulties cannot be attributed solely to a lack of driving skill or insufficient practice. [10], [11]

In forms of learning that involve direct interaction with technical systems, such as driving, performance is strongly shaped by the stability of instructional structures. Task formulation, progression of complexity, and the continuity of instructional language support the learner in forming reliable action patterns. When these structures change abruptly at the point of examination – through different modes of communication, altered expectations, or redefined interactional roles – the learner is confronted with an additional layer of cognitive demand that extends beyond the traffic situation itself. Within this context, psychological reactions observed during the practical driving test acquire a different explanatory status. Anxiety, hesitation, or temporary loss of control can be understood as responses to pedagogical conditions in which established action patterns are no longer sufficiently supported. Rather than emerging independently, these reactions reflect the learner's attempt to adapt to a situation where instructional cues, responsibility, and evaluative pressure are reorganized simultaneously.

Against this background, the present paper examines the practical driving test as a pedagogical situation shaped by the continuity – or disruption – of instructional logic across training and assessment. Attention is directed to the ways in which task structuring, communicative practices, and examiner–candidate interaction influence the learner's capacity to mobilize already acquired competencies under examination conditions. By framing the test as part of an educational continuum rather than as an isolated evaluative event, the paper seeks to establish a conceptual basis for analyzing examination performance and for informing future empirical research and pedagogical refinement in driver education.

2. Conceptual and Theoretical Background

Analyses of learning and performance in applied technological domains increasingly emphasize the importance of continuity between instructional conditions and assessment situations. In contexts such as driver education, performance cannot be understood solely as the execution of isolated skills, but as situated action shaped by instructional structures, communicative patterns, and expectations embedded in the learning environment. From this perspective, examination outcomes reflect not only individual competence, but also the coherence of the educational process within which that competence has been formed.

2.1. Cognitive Load in Examination Situations

In examination situations that involve real-time interaction with a dynamic environment, cognitive load emerges not as an abstract theoretical construct, but as an

immediately experienced constraint on action. During the practical driving test, candidates are required to process traffic information, follow instructions, anticipate hazards, and regulate their own behavior under evaluative pressure. When these demands accumulate without adequate pedagogical mediation, the learner's capacity to act purposefully may become fragmented, even when the underlying skills have been previously acquired. In such moments, performance does not fail because knowledge is absent, but because cognitive resources are misallocated (Fig. 1). [1]

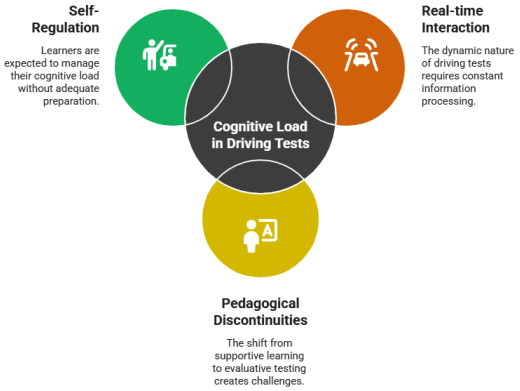


Fig. 1. *Cognitive Load in Driving Tests*

From a pedagogical perspective, cognitive overload during assessment is closely related to discontinuities between learning and testing conditions. Changes in task framing, instructional language, and interactional expectations require the learner to reorganize attention and decision-making strategies at precisely the moment when stability would be most needed. The examination situation thus introduces an additional layer of demand that competes with the driving task itself. [2], [4]

In driver education, this phenomenon becomes particularly visible because training typically unfolds in a supportive and anticipatory instructional context. During instruction, feedback is continuous, errors are treated as part of learning, and cognitive demands are implicitly regulated by the instructor's interventions. When this structure is suddenly removed or transformed at the point of examination, learners are expected to self-regulate their cognitive load without having been pedagogically prepared for this shift. The resulting tension often manifests as hesitation, narrowed attention, or delayed decision-making rather than as overt technical mistakes.

2.2. Instructional Continuity and Pedagogical Coherence

Learning in technological domains depends heavily on the continuity of instructional structures over time. In driver education, this continuity is established through stable task formats, recurring patterns of guidance, and a shared instructional language that allows learners to anticipate expectations and regulate their own actions. As competence develops, instructional support is not simply removed, but gradually transformed, enabling the learner to assume increasing responsibility without

destabilizing previously formed action patterns. Continuity, in this sense, is less about the amount of support than about its coherence.

Disruptions to this continuity become particularly consequential at the point of assessment. When the practical driving test introduces abrupt changes in communicative style, task framing, or interactional roles, learners are required to reorient themselves pedagogically at the same time as they are expected to perform independently. Even subtle shifts – such as the replacement of dialogic guidance with evaluative commands – can alter how learners interpret tasks and allocate attention, thereby increasing cognitive demand beyond what the driving situation alone would require. [3]

From this perspective, the effectiveness of instructional support cannot be judged solely by its presence during training, but by the extent to which its logic remains recognizable during assessment. When learners perceive the examination situation as pedagogically connected to prior instruction, they are more likely to mobilize existing competencies in a stable manner. When this connection is lost, examination performance becomes vulnerable to fragmentation, despite adequate technical preparation.

2.3. An Activity-Oriented Perspective on Driving Performance

Approaching the practical driving test from an activity-oriented perspective shifts attention from isolated skills to purposeful action within a concrete situation. Driving is not performed as a sequence of detached maneuvers, but as an integrated activity in which perception, decision-making, and motor execution are continuously coordinated in relation to traffic, instructions, and responsibility. Examination performance, in this sense, reflects how successfully the learner can sustain this coordination when the conditions of action are redefined by evaluative oversight. Action, however, is always sensitive to context. [5], [6]

During instruction, the learner's activity is supported by shared goals, negotiated meanings, and a clear distribution of responsibility between instructor and trainee. The examination situation alters this structure by placing full responsibility on the candidate while simultaneously introducing external judgment. This reconfiguration changes not only what the learner must do, but how the situation itself is interpreted.

From an activity-oriented standpoint, difficulties observed during the practical driving test can therefore be understood as disturbances in the organization of action rather than as failures of competence. When familiar forms of interaction are replaced by evaluative commands, and when the learner's role shifts abruptly from guided participant to accountable performer, previously stable action patterns may lose their functional coherence. The learner is required to reorganize perception, decision-making, and self-regulation under conditions of heightened responsibility, often without explicit pedagogical support. [7], [8]

2.4. Examiner–Candidate Interaction as a Pedagogical Factor

The role of the examiner during the practical driving test extends beyond the formal function of evaluation. Through language, timing of instructions, and interactional stance, the examiner actively shapes the conditions under which the candidate's action unfolds. Even when procedural neutrality is intended, communicative choices inevitably influence how tasks are perceived and how responsibility is

experienced by the learner. Communication, in this context, is never pedagogically neutral (Fig. 2). [9]

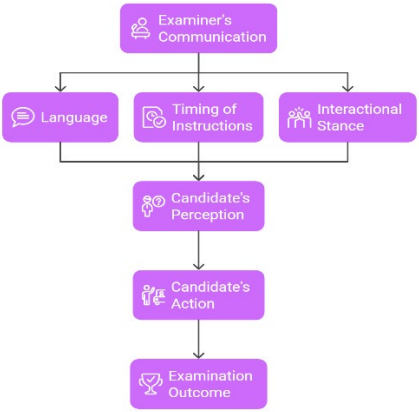


Fig. 2. *Conceptual model of examiner–candidate communication and its influence on examination performance*

From the candidate's perspective, the examiner represents both an authority figure and a situational reference point. Instructions delivered in an evaluative or corrective mode can alter the learner's focus, shift attention away from traffic cues, or interrupt emerging action patterns. Conversely, communication that preserves continuity with instructional language allows the learner to interpret the examination as a familiar pedagogical situation rather than as an abrupt rupture.

Within an activity-oriented framework, the examiner can thus be understood as a contextual regulator of action. Without providing direct instructional support, the examiner's manner of interaction may either stabilize or destabilize the learner's capacity for purposeful performance. Examination outcomes are therefore shaped not only by individual competence, but also by the interactional conditions under which that competence is required to manifest.

3. Pedagogical Implications for Driver Education and Assessment

The conceptual perspective outlined above has direct implications for how driver education and assessment are understood and organized in practice. If examination performance is shaped not only by individual competence but also by pedagogical continuity, cognitive demands, and interactional conditions, then the practical driving test cannot be treated solely as a neutral verification procedure. Instead, it must be recognized as a pedagogically sensitive situation whose structure influences the learner's capacity to demonstrate existing skills. This does not imply lowering standards or reducing evaluative rigor.

From a pedagogical standpoint, strengthening the connection between training and assessment begins with the preservation of instructional logic across contexts.

Consistency in task formulation, communicative style, and expectations allows learners to interpret the examination as a familiar extension of training rather than as a qualitatively different situation. Such continuity supports self-regulation and reduces unnecessary cognitive load without compromising the independence required during assessment.

Within this framework, the role of instructors and examiners acquires particular significance. Instructors contribute not only by developing technical skills, but also by preparing learners for the shift in responsibility and communicative dynamics characteristic of the examination situation. Examiners, in turn, influence performance through the way instructions are delivered, tasks are framed, and interaction is managed. Even within standardized procedures, small variations in language and timing may affect how candidates allocate attention and maintain coordinated action.

Importantly, many of these pedagogical considerations can be addressed without changes to existing regulatory frameworks. Adjustments in instructional sequencing, explicit preparation for examination conditions, and greater awareness of interactional effects during testing represent refinements rather than structural reforms. Such measures align with existing safety objectives while acknowledging the pedagogical nature of learning transitions in technological education. Viewed in this way, assessment becomes a continuation of education rather than its interruption.

By foregrounding pedagogical continuity and situational factors, this perspective offers a basis for rethinking how practical driving tests are designed, conducted, and interpreted. It invites a shift from attributing examination difficulties to individual shortcomings toward examining the educational conditions under which performance is elicited. These implications provide a bridge between conceptual analysis and future empirical inquiry, as well as a reference point for reflective practice in driver education and assessment.

4. Conclusion

The analysis presented in this paper has approached the practical driving test not as an isolated evaluative event, but as a pedagogically situated moment within the broader continuum of technological driver education. By examining cognitive load, instructional continuity, activity organization, and examiner–candidate interaction, the study has highlighted how examination performance is shaped by the conditions under which previously acquired competencies are required to manifest, rather than by competence alone.

Viewing the practical test through a pedagogical lens allows performance difficulties to be interpreted in a more differentiated manner. Anxiety, hesitation, or instability are not treated as inherent individual deficiencies, but as context-dependent responses to shifts in instructional logic, responsibility, and interactional structure. This perspective challenges purely procedural interpretations of assessment outcomes and emphasizes the importance of educational coherence across training and testing.

The findings underscore those meaningful improvements in examination performance and learning outcomes do not necessarily depend on regulatory change or reduced evaluative standards. Instead, they point toward the pedagogical value of continuity: consistency in instructional language, task framing, and communicative

practices that support learners in transferring established action patterns into examination conditions. Within this framework, both instructors and examiners emerge as key actors in shaping the educational quality of the assessment situation.

By conceptualizing the practical driving test as a culminating learning situation rather than a disruptive endpoint, this paper contributes a theoretical foundation for rethinking assessment practices in driver education. It opens space for future empirical research focused on learning transitions and interactional dynamics, while also offering a reflective reference for practitioners and policymakers concerned with the alignment of education, assessment, and road safety objectives.

REFERENCES

[1] Sweller J. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. Cognitive Science, Vol. 12, 1988, pp. 257–285, ISSN 0364-0213.

[2] Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. Cognitive Load Theory. Springer, New York, 2011, ISBN 978-1-4419-8125-3.

[3] Kirschner P. A., Sweller J., Clark R. E. Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work. Educational Psychologist, Vol. 41, No. 2, 2006, pp. 75–86, ISSN 0046-1520.

[4] van Merriënboer J. J. G., Kirschner P. A. Ten Steps to Complex Learning. Routledge, New York, 2018, ISBN 978-1-138-84893-5.

[5] Engeström Y. Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research. Orienta-Konsultit, Helsinki, 1987, ISBN 951-9229-17-9.

[6] Leontiev A. N. Activity, Consciousness, and Personality. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1978, ISBN 0-13-003606-7.

[7] Vygotsky L. S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press, Cambridge, 1978, ISBN 0-674-57629-2.

[8] Illeris K. Contemporary Theories of Learning. Routledge, London, 2018, ISBN 978-1-138-68635-3.

[9] Gielen S., Dochy F., Dierick S. Evaluating the Consequential Validity of New Modes of Assessment. Studies in Educational Evaluation, Vol. 29, 2003, pp. 37–54, ISSN 0191-491X.

[10] Putwain D. Test Anxiety and Assessment: Theory, Research and Applications. Routledge, London, 2014, ISBN 978-0-415-83720-6.

[11] Eraut M. Transfer of Knowledge Between Education and Workplace Settings. In: Contexts of Learning, Routledge, London, 2004, pp. 201–221, ISBN 0-415-33549-9.

[12] Hattie J., Timperley H. The Power of Feedback. Review of Educational Research, Vol. 77, No. 1, 2007, pp. 81–112, ISSN 0034-6543.



ГОДИШНИК

НА ШУМЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „ЕПИСКОП КОНСТАНТИН ПРЕСЛАВСКИ“

Т. XV Е 2025

ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ

Университетско издателство
„Епископ Константин Преславски“

ISSN: 1314-8818 (print)
ISSN: 2815-4703 (online)
DOI: https://doi.org/10.46687/AN25FTN

