

АПИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

международный научный журнал // ISSN 2713-1513 // № 13 (299), 2026 // apni.ru



часть I

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 13 (299)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

Главный редактор: Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

Ответственный редактор: Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдуллин Тимур Зуфарович, кандидат технических наук (Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара)

Абидова Гулмира Шухратовна, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Альборад Ахмед Абуди Хусейн, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

Асаналиев Мелис Казыкеевич, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

Бафоев Феруз Муртазоевич, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

Гаврилин Александр Васильевич, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

Галузо Василий Николаевич, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

Григорьев Михаил Федосеевич, доктор сельскохозяйственных наук (Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого)

Губайдуллина Гаян Нурахметовна, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

Ежкова Нина Сергеевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

Жилина Наталья Юрьевна, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Ильина Екатерина Александровна, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

Каландаров Азиз Абдурахманович, PhD по физико-математическим наукам, доцент, проректор по учебным делам (Гулистанский государственный педагогический институт)

Карпович Виктор Францевич, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

Кожевников Олег Альбертович, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

Колесников Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

Копалкина Евгения Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

Красовский Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

Кузнецов Игорь Анатольевич, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН, профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

Литвинова Жанна Борисовна, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

Мамедова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

Мукий Юлия Викторовна, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

Никова Марина Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

Насакаева Бакыт Ермекбайкызы, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

Олешкевич Кирилл Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

Попов Дмитрий Владимирович, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

Пятаева Ольга Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

Редкоус Владимир Михайлович, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

Самович Александр Леонидович, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

Сидикова Тахира Далиевна, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

Тихомирова Евгения Ивановна, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МАН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

Хайтова Олмахон Саидовна, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

Чернышев Виктор Петрович, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

Шаповал Жанна Александровна, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Шошин Сергей Владимирович, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

Юсупова Феруза Зойировна, доктор философии (PhD) (Навоийский государственный горно-технологический университет)

Яхшиева Зухра Зиятовна, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ

Агаров S.V.

THE SILENT CATASTROPHE: WHY INSECT DECLINE REMAINS THE MOST UNDERESTIMATED PROBLEM OF OUR TIME	6
--	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Алиев Р.А., Атаманский Д.Р., Баранов Е.Н.

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИН ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧС В ЗОНЕ ЗАТОПЛЕНИЯ	8
--	---

Жеребцов В.А., Скоб Д.Э.

АНАЛИЗ ОПЫТА, ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ И ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСОБО ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГОРСКОЙ ДИСТАНЦИИ ПУТИ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.....	13
--	----

Сефербеков Р.З.

АНАЛИЗ, НАСТРОЙКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ BGP В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ	17
---	----

Тимофеева Е.Е.

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ С УЧЕТОМ ВИБРАЦИОННЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	21
---	----

Шепталов Д.Д., Дервянко П.С.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА РЕЖИМА VL-SNR СТАНДАРТА DVB-S2X И НИЗКОСКОРОСТНЫХ СХЕМ МОДУЛЯЦИИ И КОДИРОВАНИЯ DVB-S2.....	24
--	----

ВОЕННОЕ ДЕЛО

Будко В.С., Салихов Р.Ю.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАЗВЕДКИ МЕСТНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВОЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ	28
---	----

Вершков А.С., Арещенко Е.Д., Винокуров С.А.

СПОСОБЫ ЭВАКУАЦИИ РАНЕНОГО С ПОЛЯ БОЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	32
--	----

Фомин Е.А.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТАКТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ	36
--	----

Шепталов Д.Д., Дервянко П.С.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОТИВОБОРСТВО В СИСТЕМАХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ И РАЗВЕДКИ	40
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Vaimataeva S.M.

ADVANCES IN CLOUD-NATIVE CYBER DEFENSE: INTRUSION RECOGNITION
AND SELF-HEALING ARCHITECTURES UNDER MODERN ATTACK VECTORS..... 44

Абилда Ж.

РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ЦЕПОЧКЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ:
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМ 50

Андреев А.А.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ
ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ
ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 57

Неклюдов А.В.

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМУ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ 62

Шепталов Д.Д., Дервянко П.С.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА TETRA
ПОСРЕДСТВОМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ
ОБЗОР 65

БИОЛОГИЯ

АГАПОВ Semyon Valentinovich

Student of the 9th "b" Class, MBOU Lyceum No. 4, Russia, Chekhov

THE SILENT CATASTROPHE: WHY INSECT DECLINE REMAINS THE MOST UNDERESTIMATED PROBLEM OF OUR TIME

Abstract. *The article examines the problem of the global decline in insect populations as one of the key manifestations of the so-called "sixth mass extinction." It substantiates the thesis that the reduction in insect biomass represents an underestimated threat capable of causing structural transformations of the biosphere and the collapse of trophic chains that sustain human civilization. Particular attention is paid to the "windshield phenomenon," which illustrates the gradual and often unnoticed nature of these changes, as well as to the difficulties associated with measuring the scale of insect population decline.*

Keywords: *insects, sixth mass extinction, insect biomass, biodiversity, pollination, food webs, ecological crisis, agriculture, insecticides, climate change.*

While world leaders debate carbon emission quotas and GDP growth rates, a phenomenon is unfolding in nature that biologists call the «sixth mass extinction». Yet there is a crucial detail to this process: its epicenter lies in the world of insects. The decline in insect biomass is perhaps the most underestimated issue of our time. Its significance extends far beyond the field of entomology: it concerns a fundamental restructuring of the biosphere – one capable of collapsing the food chains upon which human civilization depends.

The Windshield Phenomenon: Why We Fail to Notice the Disappearance

Why does this problem remain in the shadows? The first reason is the so-called «windshield phenomenon», noted as early as the beginning of the 21st century. The older generation remembers that after a night drive, the windshield had to be scraped clean of thousands of insects. Today, this hardly happens anymore. Yet this disappearance occurred so gradually that it came to be accepted as normal. We do not mourn what we are not accustomed to noticing. Insects lack the charisma of pandas or tiger cubs, and most people feel aversion rather than affection toward them.

The second reason lies in the difficulty of measurement. We grasp climate change through temperature charts that anyone can understand. But how do we convey that insect biomass has declined by three-quarters over thirty years? Landmark studies, such as the research from German nature

reserves – which documented a 76 percent reduction in flying insect biomass between 1989 and 2016 [1] – sound alarming only within scientific circles. To the average person, the phrase «there are fewer bugs» can sound almost like a welcome change.

The Price of Silence: What We Stand to Lose

Yet ignoring this problem carries catastrophic consequences. Insects are the «little creatures that run the world» (E. O. Wilson).

Pollination. Approximately 75 percent of global food crops, including fruits, vegetables, coffee, and cocoa, depend on insect pollinators [2, p. 303-313]. The decline of wild bee populations is already causing economic losses in the hundreds of billions of dollars annually and jeopardizing food security. We may survive a spike in oil prices, but we will not survive the disappearance of apples or almonds if there is nothing left to pollinate them.

Food Webs. Insects form the foundation of most terrestrial and freshwater ecosystems. They serve as the primary food source for birds, reptiles, and small mammals. Ornithologists worldwide document a synchronized decline in insectivorous bird populations: fewer insects mean fewer fledglings. If the base of the pyramid collapses, the entire pyramid collapses. When we lose insects, we trigger a cascading extinction event that will eventually reach apex predators and transform landscapes beyond recognition.

An Inconvenient Cause. The underestimation of this crisis is also linked to the fact that its causes are inconvenient for the dominant economic model. The death of insects is driven by a «death by a thousand cuts»: intensive agriculture with its monocultures and relentless use of neonicotinoids; the destruction of natural habitats such as hedgerows, heathlands, and meadows; light pollution, which disorients nocturnal insects; and, finally, climate change. Acknowledging the problem would mean questioning agro-industrial practices that prioritize short-term yield over long-term sustainability.

A Test of Maturity

The significance of this issue transcends biology. It serves as a litmus test of our ability to recognize slow, quiet crises that do not fit the news cycle. We have built a world in which we are blind to anything that does not promise immediate gain. We fear climate change because it will bring hurricanes and floods. But the insect die-off is a silent death, occurring unnoticed before our very eyes – in every garden, along every roadside.

If we continue to underestimate this crisis, if we fail to urgently transform our agricultural practices – banning the most harmful insecticides, creating biodiversity corridors, abandoning the ideal of the pristine lawn – we risk waking up in a world where orchards no longer bear fruit, fields are silent without bees, and spring mornings are no longer filled with birdsong.

The problem of declining insect biomass matters because it reminds us that civilization does not rest on abstract economic indicators, but on a fragile web of living creatures that work for us freely and invisibly – until we fail to notice their disappearance.

References

1. Hallmann C.A., Sorg M., Jongejans E., et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE, No. 12(10), e0185809. DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.
2. Klein A.M., Vaissière B.E., Cane J.H., et al. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, No. 274(1608), P. 303-313. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.
3. Sánchez-Bayo F., Wyckhuys K.A.G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biological Conservation, No. 232, P. 8-27. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.01.020.
4. Wagner D.L. (2020). Insect declines in the Anthropocene. Annual Review of Entomology, No. 65, P. 457-480. DOI: 10.1146/annurev-ento-011019-025151.
5. Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., et al. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. Trends in Ecology & Evolution, No. 25(6), P. 345-353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

АГАПОВ Семён Валентинович

ученик 9 «в» класса, МБОУ Лицей № 4, Россия, г. Чехов

ТИХАЯ КАТАСТРОФА: ПОЧЕМУ СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕКОМЫХ ОСТАЕТСЯ САМОЙ НЕДООЦЕНЕННОЙ ПРОБЛЕМОЙ НАШЕГО ВРЕМЕНИ

Аннотация. В статье рассматривается проблема глобального сокращения популяций насекомых как одно из ключевых проявлений так называемого «шестого массового вымирания». В нем обосновывается тезис о том, что сокращение биомассы насекомых представляет собой недооцененную угрозу, способную вызвать структурные преобразования биосферы и разрушение трофических цепей, поддерживающих человеческую цивилизацию. Особое внимание уделяется «феномену защиты от ветра», который иллюстрирует постепенный и часто незаметный характер этих изменений, а также трудности, связанные с измерением масштабов сокращения популяции насекомых.

Ключевые слова: насекомые, шестое массовое вымирание, биомасса насекомых, биоразнообразие, опыление, пищевые сети, экологический кризис, сельское хозяйство, инсектициды, изменение климата.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

АЛИЕВ Руслан Агилович

студент,

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова,
Россия, г. Белгород

АТАМАНСКИЙ Дмитрий Русланович

студент,

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова,
Россия, г. Белгород

БАРАНОВ Евгений Николаевич

преподаватель, Валуйский индустриальный техникум, Россия, г. Валуйки

*Научный руководитель – доцент Белгородского государственного
технологического университета имени В. Г. Шухова,
кандидат технических наук Шкарпеткин Евгений Александрович*

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИН ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧС В ЗОНЕ ЗАТОПЛЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается вопрос повышения эффективности наземных транспортно-технологических средств при ликвидации последствий наводнений. Выполнен анализ существующих способов развертывания насосного и энергогенерирующего оборудования. Обоснована необходимость модернизации аварийно-спасательного автомобиля на шасси КамАЗ-43118 путем установки мобильного энергогенерирующего и насосного модуля (МЭНМ). Приведены расчеты мощности генераторной установки и производительности насосного оборудования для типовых условий работ. Показано, что внедрение МЭНМ позволяет сократить время развертывания, обеспечить энергоснабжение изолированных участков, организацию освещения и связи. Затраты на приобретение МЭНМ ниже на 15–20% по сравнению с отдельной закупкой насосной станции и генератора.

Ключевые слова: наводнение, чрезвычайная ситуация, аварийно-спасательные работы, мобильный генератор, насосный модуль, время развертывания.

Согласно климатологическим исследованиям, частота наводнений в последние годы увеличивается. Последствия этих явлений затрагивают население, хозяйственные объекты, имущество граждан и природную среду. В Российской Федерации из-за подобных катастроф наблюдается серьезный ущерб инфраструктуре городов, хозяйству и в целом спокойной жизни граждан. Как следствие, регионы, в которых случилась подобная катастрофа, несут экономические потери [5].

Для устранения последствий используют наземные транспортно-технологические средства (НТТС) общего назначения, состоящие на оснащении аварийно-спасательных служб. От работоспособности данного специализированного транспорта зависит качество ликвидации бедствия. Однако парк стандартных машин общего назначения (на базе колесных грузовых автомобилей и тракторов) демонстрирует недостаточную эффективность в специфических условиях подтопленных территорий. Согласно данным отчетов МЧС, большинство НТТС

имеют сложности с решением первичных задач, таких как: быстрое создание напорных рукавных линий, энергоснабжение изолированных участков, организация освещения и связи [9]. Существующая практика предполагает раздельную доставку генераторов и насосных установок на объект происшествия с их последующей сборкой, установкой на спец. транспорт и приведение в готовность. Исходя из вышесказанного фиксируем зависимость масштаба ущерба от времени начала работ.

Согласно отчётам МЧС, между задержками ввода насосных групп на 45–90 минут увеличивают экономические потери на 35–40% [10].

Для решения данной проблемы предлагается модернизация вышеуказанного оборудования, которая решала бы все три задачи одновременно с минимальными задержками. За основу машины принято серийное шасси КамАЗ-43118, на которое устанавливается МЭНМ.

В таблице 1 представлены существующие способы развёртывания.

Таблица 1

Хронометраж операций при различных схемах развёртывания

Схема развёртывания	Состав парка	Среднее время ввода в работу, мин	Основной фактор задержки
Раздельная	Грузовой автомобиль, прицеп, отдельная ед. с генератором	45–90	Стыковка разнородного оборудования, прокладка кабеля
Частично совмещённая	Автомобиль с генератором, отдельная насосная станция	30–50	Координация двух единиц техники
Предлагаемая схема (МЭНМ)	КамАЗ-43118 с интегрированным модулем	12–18	Только прокладка рукавов

Как видно из таблицы 1, у каждого способа есть свои недостатки. МЭНМ этих недостатков лишен: он позволяет запустить работы быстрее других вариантов и обходится дешевле.

Расчёты на мощность генератора и производительность насоса.

Исходные данные для расчета взяты из перечня типовых работ при ликвидации подтоплений [9]. В состав потребителей электроэнергии входят: три дренажных насоса ГНОМ 40/30 мощностью $P_1 = 4$ кВт каждый; осветительная мачта $P_2 = 3$ кВт; средства связи и электроинструмент суммарной мощностью $P_3 = 1$ кВт [2].

Суммарная мощность насосной группы:

$$P_n = n \cdot P_1, \tag{1}$$

Где n – количество насосов.

$$P_n = 3 \cdot 4 = 12 \text{ кВт}, \tag{2}$$

Необходимо провести расчёт поправочного коэффициента по нагрузке, так как

$$P_3 = k_3 \cdot (P_1 + P_{np}) = 0,15 \cdot (12,71 + 4) = 2,505 \text{ кВт}, \tag{6}$$

Требуемая мощность дизель-генераторной установки:

$$P_{дгу} = P_1 + P_{np} + P_3 = 12,71 + 4 + 2,505 = 19,215 \text{ кВт}, \tag{7}$$

К установке принимается ДГУ номинальной мощностью 22 кВт [6].

До модернизации использовались генераторы заниженной мощности либо раздельное включение потребителей во избежание перегрузки. Это увеличивало общую продолжительность работ. После модернизации обеспечена возможность одновременной работы всех трёх насосов, осветительной мачты и средств связи,

одновременная работа всех трёх насосов в продолжительном режиме требуется не во всех ситуациях. Для учёта этого вводится коэффициент: $[k_c] = 0,9$ [3].

Расчётная мощность насосов с учётом коэффициента:

$$P_{н,р} = P_n \cdot k_c = 12 \cdot 0,9 = 10,8 \text{ кВт}, \tag{3}$$

С учетом КПД генератора $\eta = 0,85$ требуемая мощность для питания насосов составит:

$$P_1 = \frac{P_{кр}}{\eta} = \frac{10,8}{0,85} = 12,71 \text{ кВт}, \tag{4}$$

Суммарная мощность потребителей:

$$P_{сум} = P_2 + P_3 = 3 + 1 = 4 \text{ кВт}, \tag{5}$$

С учетом возможных перегрузок и пусковых токов вводится коэффициент запаса $k_3 = 0,15$. Запас рассчитывается от суммарной мощности насосов (с учетом КПД) и прочих потребителей:

что сокращает технологический цикл водоотлива

Расчёт требуемой производительности выполнен для типового объекта ликвидации подтопления – котлована, подвала либо иного заглублённого сооружения. Объём воды $[V = 1000 \text{ м}^3]$, подлежащей удалению, принят на основании методики оценки последствий локальных паводков [8].

Время осушения принято $t = 10$ ч (одна рабочая смена). Требуемая производительность насоса:

$$Q = V/t = 1000/10 = 100 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (8)$$

При подаче воды по напорным рукавам длиной 100–150 м возникают гидравлические потери. Для их учета вводится поправочный коэффициент $k_p = 1,2$. При практических расчетах насосно-рукавных систем количество рукавов определяют с 20% запасом на неровности местности [7].

Фактическая производительность насоса с учетом потерь:

$$Q_f = Q \cdot k_p = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (9)$$

По итогам расчётов принят насос 125 м³/ч, напор 40 м [2]. От расчетных 100 м³/ч заложен запас 5% – на эксплуатационный износ и внешние условия.

Для подтверждения эффективности предлагаемой модернизации выполнен расчет времени технологического цикла развертывания оборудования при традиционной схеме и при использовании мобильного энергогенерирующего насосного модуля (МЭНМ).

Согласно методическим рекомендациям МЧС России по организации работ в период паводков, при ликвидации подтоплений используется насосное оборудование, автономные

$$T_{\text{ТРАД}} = (10 - 20) + (10 - 15) + (10 - 20) + (15 - 35) = 45 - 90 \text{ мин}, \quad (11)$$

Полученное значение соответствует данным практического хронометража при ликвидации подтоплений, когда насосные станции и генераторы доставляются раздельно и требуют монтажа на месте проведения работ [9].

При использовании мобильного энергогенерирующего насосного модуля МЭНМ генератор, насосная установка и коммутационная аппаратура объединены в одном модуле, установленном на шасси КамАЗ-43118 [1]. В этом случае операции разгрузки и монтажа оборудования исключаются из технологического цикла.

Время развертывания определяется только операциями:

$$T_{\text{МЭНМ}} = t_5 + t_6, \quad (12)$$

Где:

t_5 – время установки всасывающих рукавов и подключения насоса; t_6 – время прокладки напорных рукавов и запуска системы.

По данным эксплуатации насосных установок типа ГНОМ и методических рекомендаций по расчету рукавных линий [2, 7], среднее время выполнения данных операций составляет:

источники электроэнергии и рукавные линии для подачи воды [9]. При традиционной схеме оборудование доставляется на место происшествия несколькими единицами техники, после чего производится разгрузка, монтаж, подключение и проверка работоспособности.

Полное время ввода оборудования в работу определяется суммой продолжительности отдельных технологических операций:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (10)$$

Где:

t_1 – время разгрузки оборудования; t_2 – время монтажа и подключения генератора; t_3 – время установки насосного оборудования; t_4 – время прокладки рукавных линий и проверки системы.

По данным методических материалов и практики ликвидации подтоплений [9, 10], средняя продолжительность операций составляет: t_1 – разгрузка генератора и насосной станции: 10–20 мин; t_2 – монтаж и подключение генераторной установки: 10–15 мин; t_3 – установка насосного оборудования и подключение питания: 10–20 мин; t_4 – прокладка рукавной линии длиной 100–150 м и проверка системы: 15–35 мин [7].

Суммарное время развертывания оборудования при традиционной схеме:

t_5 – установка насосного оборудования: 5–8 мин; t_6 – прокладка рукавной линии и запуск насосной группы: 7–10 мин.

Общее время ввода системы в работу:

$$T_{\text{МЭНМ}} = (5 - 8) + (7 - 10) = 12 - 18 \text{ мин}, \quad (13)$$

Сокращение времени развертывания достигается за счет исключения операций разгрузки, сборки и подключения автономных энергетических установок.

Относительное уменьшение продолжительности технологического цикла определяется выражением:

$$\Delta T = (T_{\text{ТРАД}} - T_{\text{МЭНМ}})/T_{\text{ТРАД}} \times 100\%, \quad (14)$$

Для средних значений:

$$T_{\text{ТРАД}} = 67,5 \text{ мин},$$

$$T_{\text{МЭНМ}} = 15 \text{ мин}.$$

$$\Delta T \approx 77\%.$$

Таким образом, применение МЭНМ позволяет сократить время ввода насосной группы в работу примерно на 75–80%, что существенно повышает оперативность проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ и снижает возможный ущерб от подтоплений [9, 10].

Таблица 2

Сравнение технологических и экономических показателей до и после внедрения МЭНМ

Показатель	До применения МЭНМ	После применения МЭНМ
Мощность генератора, кВт	8–12	22
Производительность насоса, м ³ /ч	60–80	125
Время ввода электроснабжения, мин	30–40	5–7
Время подготовки насосной группы, мин	20–30	7–10
Время полного развертывания, мин	45–90	12–18
Количество техники, ед.	2	1
Задействованный персонал, чел.	3–4	2
Затраты на приобретение, млн руб.	2,0 (1,2 + 0,8)	1,5
Монтаж на месте ЧС	Требуется (разгрузка, сборка)	Не требуется
Энергоснабжение и связь	Организуются после монтажа	Доступны по прибытии

В результате анализа расчетных и экспериментальных данных установлена целесообразность внесения конструктивных изменений в применяемые средства водооткачки путем интеграции насосного оборудования и автономного источника электроснабжения в единый мобильный комплекс.

Предлагается модернизация существующих средств за счет конструктивного объединения центробежной насосной установки, автономной дизель-генераторной установки, системы отбора мощности от базового шасси, напорных и всасывающих рукавных линий, а также распределительной системы электроснабжения с коммутационно-защитной аппаратурой и узлами подключения потребителей. Указанные элементы предлагается разместить в составе мобильного энергогенерирующего насосного модуля (МЭНМ) на базе шасси КамАЗ-43118.

Таким образом, установлена целесообразность модернизации компоновки насосно-энергетического оборудования путем объединения насосной установки, генераторного агрегата, системы рукавных коммуникаций и распределения электроэнергии в составе единого мобильного модуля, что обеспечивает повышение оперативности развертывания техники и эффективности применения аварийно-спасательных подразделений.

Литература

1. Шасси КАМАЗ-43118-50 [Электронный ресурс] // Официальный сайт ПАО «КАМАЗ». – Режим доступа: <https://iframe.kamaz.ru/production/serial/shassi/shassi-kamaz-43118-46/> (дата обращения: 22.02.2026).

22.02.2026).

2. Насосы погружные моноблочные дренажные ГНОМ [Электронный ресурс] // СветТрейд. – Режим доступа: <http://svettrade.com/tovar.aspx?id=58&idt=13585> (дата обращения: 22.02.2026).

3. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. – Введ. 2004-01-01. – М.: Госстрой России, 2004. – 64 с. [Электронный ресурс] // <https://base.safework.ru/law?doc&nd=33301716&nh=0§=9> (дата обращения: 22.02.2026).

4. Дизель-генераторная установка С2.2 / DE22E3 [Электронный ресурс] // Borusan Cat Казахстан. – Режим доступа: <https://www.borusancat.kz/ru/power-system/new/18255920/электроэнергия/116922/c2.2-de22e3> (дата обращения: 22.02.2026).

5. О гидрологических последствиях изменения климата [Электронный ресурс] // Глобальное изменение климата. – Режим доступа: <http://www.global-climate-change.ru/index.php/en/organizations/108-of-news-cat/4148-posledstvia> (дата обращения: 22.02.2026).

6. Дизельный генератор АД-22С-Т400-1РМ29 [Электронный ресурс] // Официальный дилер «Азимут». – Режим доступа: <https://generator-azimut.com/product/ad-22s-t400-1rm29/> (дата обращения: 22.02.2026).

7. Определение напоров на насосе при подаче воды на тушение пожара [Электронный ресурс] // StudFiles. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7732398/page:38/> (дата обращения: 22.02.2026).

8. Методические рекомендации по оценке ущерба, вызванного крупномасштабным наводнением в регионах Дальневосточного федерального округа (утв. МЧС России) [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70675200/> (дата обращения: 22.02.2026).

9. Методические рекомендации по организации подготовки и сопровождения паводкоопасного периода на территории субъекта Российской Федерации: утв. МЧС России 09.03.2023 № 2-4-48-3-9. – Москва, 2023. – 45 с. [Электронный ресурс] // <https://54.mchs.gov.ru/deyatelnost/grazhdanskay-azashchita/preduprezhdenie-chrezvychaynyh-situaciy/metodicheskie-rekomendacii/metodicheskie-rekomendacii->

[mchs-rossii/metodicheskie-rekomendacii-ot-09-03-2023-2-4-48-3-9-po-organizacii-podgotovki-i-soprovozhdeniya-pavodkoopasnogo-perioda-na-territorii-subekta-rf?ysclid=mmdxmrrkg715649784](https://54.mchs.gov.ru/deyatelnost/grazhdanskay-azashchita/preduprezhdenie-chrezvychaynyh-situaciy/metodicheskie-rekomendacii/metodicheskie-rekomendacii-) (дата обращения: 22.02.2026).

10. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2023 году» [Текст] / МЧС России. – М.: МЧС Медиа, 2024. – 286 с. – ISBN 978-5-6049960-9-6. [Электронный ресурс] // <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343?ysclid=mm dxt8gxjy318196807> (дата обращения: 22.02.2026).

ALIEV Ruslan Agilovich

Student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Russia, Belgorod

ATAMANSKY Dmitry Ruslanovich

Student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Russia, Belgorod

BARANOV Evgeny Nikolaevich

Lecturer, Valuysky Industrial College, Russia, Valuyki

*Scientific Advisor – Associate Professor
of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov,
Candidate of Technical Sciences Shkarpetkin Evgeny Alexandrovich*

ANALYSIS OF OPTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF EMERGENCY RESPONSE VEHICLES IN THE FLOOD ZONE

Abstract. *The article considers the issue of increasing the efficiency of land transport and technological facilities in the aftermath of floods. The analysis of the existing methods of deployment of pumping and power generating equipment is carried out. The necessity of upgrading an emergency rescue vehicle on the KamAZ-43118 chassis by installing a mobile power generating and pumping module (MENM) is substantiated. Calculations of the power of the generator set and the performance of pumping equipment for typical working conditions are given. It is shown that the implementation of the MENM makes it possible to reduce the deployment time, provide energy supply to isolated areas, and organize lighting and communications. The cost of purchasing a MENM is 15-20% lower compared to the separate purchase of a pumping station and a generator.*

Keywords: *flood, emergency, emergency rescue, mobile generator, pumping module, deployment time.*

ЖЕРЕБЦОВ Вячеслав Александрович

кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и бухгалтерского учёта,
Дальневосточный государственный университет путей сообщения –
Амурский институт железнодорожного транспорта, Россия, г. Свободный

СКОБ Дарья Эдуардовна

студентка, Свободненский техникум железнодорожного транспорта, Россия, г. Свободный

АНАЛИЗ ОПЫТА, ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ И ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСОБО ГРУЗОНАПРЯЖЕННЫХ УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГОРСКОЙ ДИСТАНЦИИ ПУТИ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Аннотация. В статье проведен анализ отечественного и зарубежного опыта применения современных материалов верхнего строения пути и технологий на особо напряженных участках Белогорской дистанции пути Забайкальской железной дороги, а также разработан и сделан вывод эффективности предложенных усовершенствований. В данной статье главный акцент направлен на улучшение качественных и количественных характеристик работы дистанции пути. Техническая возможность железных дорог по обеспечению перевозок пассажиров и грузов определяется наличной пропускной способностью основных устройств и сооружений. В статье предложены проекты, направленные на усовершенствование верхнего строения пути проводимого силами предприятия, в том числе укладка стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 с увеличенным ресурсом и нагрузкой на ось и замена изолирующих композитных накладок типа АПАТЭК, эксплуатируемых на главном ходу Транссибирской магистрали на металлокомпозитные накладки.

Ключевые слова: железная дорога, рельсовые цепи, стрелочный перевод, Забайкальская железная дорога, пропускная способность, верхнее строение пути.

Развитие системы содержания верхнего строения пути грузонапряженных участков железных дорог регламентируется основными нормативными документами, действующие в путевом комплексе ОАО «РЖД»:

- правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ПТЭ РЖД) утверждены приказом Министерства транспорта РФ от 23.06.2022 г. № 250;
- положение о системе ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД», утверждённое распоряжением ОАО «РЖД» № 3212р от 31.12.2015 г.;
- СТО РЖД 15.002-2022. Система управления охраной труда в ОАО «РЖД». Организация контроля и порядок его проведения", утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» от 21.04.2022 г. № 1088/р;
- правила по охране труда при техническом обслуживании и ремонте объектов инфраструктуры путевого комплекса ОАО «РЖД» ПОТ РЖД ЦДРП-022-2022, утвержденные

распоряжением ОАО «РЖД» от 08.04.2022 г. № 953/р;

- инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» № 2288р от 14.11.2016 (редакция от 30.06.2022) [2, 3].

В ОАО «РЖД» установлены специальные отдельные нормативные документы, регламентирующие деятельность на особогрузонапряженных железнодорожных линиях, в данной работе использованы своды:

- правил «Железнодорожный путь», который устанавливает требования к конструкции и элементам верхнего строения пути на особо напряженных участках СП 238.1326000.2015;
- правил «Железные дороги колеи 1520 мм», который определяет нормы для особогрузонапряженных железнодорожных линий, например, максимальный уклон (включая

уклон усиленной тяги) СП 119.13330.2017 и другие [4].

В настоящее время на сети железных дорог растет число участков движения тяжеловесных и соединенных поездов, поездов с виртуальной сцепкой, с использованием вагонов осевой нагрузкой 25 тс (полувагоны модели 12-6744). При текущей организации технического обслуживания пути это зачастую приводит к отсутствию возможности проведения профилактических работ и создания резервов графика для производства ремонтных работ [5].

В связи с этим, характерной особенностью особо грузонапряженных участков является нарушение регламентных сроков проведения ремонтных работ. В таких условиях требуется установление контроля и анализа, определение технологий, параметров (объем, сроки, качество, вид) выполнения работ текущего содержания пути, так как нарушение сроков ремонтов с недостаточным объемом работ по текущему содержанию может привести к ускорению деградации пути и угрозе безопасности движения поездов.

Важную роль на состояние верхнего строения пути оказывают такие параметры как: грузонапряженность участка, скорость движения поездов, вес поездов, состояние земляной призмы, нагрузки на ось колёсных пар, режим ведения подвижного состава [6].

Забайкальская железная дорога – филиал ОАО «РЖД» является важнейшей транзитной составляющей Транссибирской магистрали и одной из ключевых транспортных магистралей восточной части России. Она обеспечивает функционирование трансконтинентального коридора, связывающего страны Азиатско-Тихоокеанского региона и Европы, а также железнодорожное сообщение Российской Федерации с Китайской Народной Республикой через

пограничный переход Забайкальск – Маньчжурия.

Специфика дороги связана со сложными климатическими условиями территорий, по которым она пролегает. Низкая температура зимой (до – 40-50°С), короткое, но знойное лето с резкими перепадами дневных и ночных температур (до + 20°С), наличие почв с вечной мерзлотой, изменчивый рельеф и многочисленные реки существенно усложняют содержание путевой и энергоснабжающей инфраструктуры, обслуживание подвижного состава [1].

Определяющими факторами для функционирования и развития Забайкальской железной дороги в XXI веке являются динамично растущая грузонапряженность, масштабное обновление основных производственных фондов и работа по достижению целевых параметров обеспечения безопасности движения поездов.

Факторы, влияющие на эксплуатацию железнодорожного пути в границах Белогорской дистанции пути:

- повышенная грузонапряженность;
- эксплуатация пути со свехпропущенным нормативным тоннажем;
- большое количество стрелочных переводов, расположенных на станции Белогорск и станции Белогорск II (450шт.).

В данной статье рассмотрено применение проектов, направленных на усовершенствование верхнего строения пути в настоящее время проводимого силами предприятия, в том числе укладка стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 с увеличенным ресурсом и нагрузкой на ось и замена изолирующих композитных накладок типа АПАТЭК, эксплуатируемых на главном ходу Транссибирской магистрали на металлокомпозитные накладки.

В таблице приведен анализ особенности конструкции перевода стрелочного типа Р65 марки 1/11.

Таблица

Особенности конструкции перевода стрелочного типа Р65 марки 1/11

Перевода	Раздельное скрепление; упругие прутковые клеммы Sk1; подкладки с ребордами; с последующей сваркой рельсовых стыков в пути алюминотермитным способом
Стрелки	Гибкие острия с приварными рельсовыми окончаниями; упругие П-образные пружинные клеммы; сварные подкладки с подушками; гарнитура с внешним замыкателем; роликовые устройства
Крестовины	Моноблочная крестовина с четырьмя приварными рельсовыми окончаниями

Стрелочный перевод укладывается на специально разработанные по новой технологии железобетонные брусья с шурупно-дюбельным

скреплением. В стрелке применены дополнительные связные полосы с полимерными изолирующими вставками, обеспечивающими

надежную изоляцию металлических частей и постоянство ширины колеи; оснащается моноблочной крестовиной из высокомарганцовистой стали с четырьмя приварными рельсовыми окончаниями и сборной крестовиной с рельсовыми усовиками и укороченным литым сердечником из высокомарганцовистой стали с приваренными к его заднему торцу рельсовыми окончаниями, так и моноблочной крестовиной из высокомарганцовистой стали с четырьмя приварными рельсовыми окончаниями.

Эксплуатация стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 проектов предусматривает: увеличение скоростей движения поездов, в том числе по кривым участкам пути, влечет за собой широкое применение новых конструкций стрелочных переводов для скоростного и высокоскоростного движения, в том числе криволинейных переводов.

Замена изолирующих композитных накладок типа АПАТЭК эксплуатируемых по главному ходу Транссибирской магистрали на металлокомпозитные накладки позволяет ликвидировать проблемы в работе рельсовых цепей, снизить риск попадания в перекрытие торцевой изоляции металлических частиц пыли, стружки, окалины, снизить количество неисправностей по отступлению просадок в изолирующих стыках по проходу вагона-путеизмерителя, путеизмерительных тележек, а также снизить намагниченность рельсовых концов.

Кроме того, значительно увеличивается гарантийный срок службы изолирующих стыков, снижаются материальные затраты и, как следствие, себестоимость производства работ. Замена композитных накладок на металлокомпозитные, за счёт более жёсткого стыкового соединения рельсов с МКС и плавного прохождения колёсных пар по стыку позволяет уменьшить динамические нагрузки на изолирующий стык. Снижаются затраты на материалы при устранении просадок в изолирующих стыках в 3 раза. Вместе с тем отпадает потребность в снятии накатов рельсошлифовальными станками, замене изношенных накладок типа АПАТЭК и рельсов со смятием головок, профилактической переборке изолирующих стыков (при эксплуатации стыков типа МКС производится натурный осмотр), в регулировке стыковых зазоров, протяжке стыковых болтов, а также в размагничивании.

Применения современных материалов верхнего строения пути и технологий на особо

напряженных участках железных дорог позволяет:

- увеличивать скорость движения поездов, в том числе по кривым участкам пути, что влечет за собой широкое применение новых конструкций стрелочных переводов для скоростного и высокоскоростного движения, в том числе криволинейных переводов;
- ликвидировать проблемы в работе рельсовых цепей, снизить риск попадания в перекрытие торцевой изоляции металлических частиц пыли, стружки, окалины, снизить количество неисправностей по отступлению просадок в изолирующих стыках по проходу вагона-путеизмерителя, путеизмерительных тележек;
- снизить намагниченность рельсовых концов;
- увеличивать гарантийный срок службы изолирующих стыков, снижаются материальные затраты и, как следствие, себестоимость производства работ;
- уменьшать динамические нагрузки на изолирующий стык;
- снижать затраты на материалы при устранении просадок в изолирующих стыках в 3 раза;
- устраняет потребность в снятии накатов рельсошлифовальными станками, замене изношенных накладок типа АПАТЭК и рельсов со смятием головок, профилактической переборке изолирующих стыков (при эксплуатации стыков типа МКС производится натурный осмотр), в регулировке стыковых зазоров, протяжке стыковых болтов, а также в размагничивании.

Литература

1. Абраров Р.Г. Устройство бесстыкового пути. Температурное воздействие на рельсовые плети. Система содержания и ремонта бесстыкового пути на обеспечение его устойчивости / Р.Г. Абраров // Учебник. – М. – 2024. – 216 с.
2. Боровикова М.С. Организация движения на железнодорожном транспорте / М.С. Боровикова // Учебник. – М.: Маршрут. – 2003. – 368 с.
3. Киреев В.С. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ / В.С. Киреев // Учебник. – М.: Транспорт. – 2019. – 521 с.
4. Крейнис З.Л., Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути / З.Л. Крейнис, Н.Е. Селезнева // Учебник. –

2019. – 453 с.

5. Мустафин К.М. Организация планово-предупредительных работ по текущему содержанию и ремонту дорог и дорожных сооружений с использованием машинных комплексов /

К.М. Мустафин // Учебник. – М. – 2023. – 240 с.

6. Подвербная О.В. Проектирование реконструкции железных дорог / О.В. Подвербная, В.В Четвертнова // Учебник для СПО. – М. – 2019. – 340 с.

ZHEREBTSOV Vyacheslav Aleksandrovich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Finance and Accounting, Far Eastern State University of Railways – Amur Institute of Railway Transport, Russia, Svobodny

SKOB Daria Eduardovna

Student, Svobodny Technical College of Railway Transport, Russia, Svobodny

AN ANALYSIS OF THE EXPERIENCE AND APPLICATION OF MODERN TRACK SUPERSTRUCTURE MATERIALS AND TECHNOLOGIES ON PARTICULARLY STRESSED SECTIONS OF RAILWAYS USING THE EXAMPLE OF THE BELOGORSK TRACK SECTION OF THE TRANS-BAIKAL RAILWAY

Abstract. *This article analyzes domestic and international experience in the application of modern track superstructure materials and technologies on particularly stressed sections of the Belogorsk track section of the Trans-Baikal Railway. It also develops and evaluates the effectiveness of the proposed improvements. This article focuses on improving the qualitative and quantitative performance of the track section. The technical capacity of railways to handle passenger and freight traffic is determined by the available capacity of their main equipment and structures. The article proposes projects aimed at improving the track superstructure carried out by the enterprise, including the installation of type P65 turnouts of grade 1/11 with an increased service life and axle load and the replacement of insulating composite plates of the APATEK type used on the main track of the Trans-Siberian Railway with metal-composite plates.*

Keywords: *railway, track circuits, turnout, Trans-Baikal Railway, capacity, track superstructure.*

СЕФЕРБЕКОВ Расул Закирович

магистрант,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Азербайджан, г. Баку

Научный руководитель – доцент Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности, кандидат технических наук Алиев Гошгар

АНАЛИЗ, НАСТРОЙКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ BGP В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ

Аннотация. В статье рассматриваются принципы анализа, настройки и оптимизации маршрутизации на основе протокола BGP в корпоративных сетях. Освещаются особенности применения BGP в условиях многопровайдерных подключений, гибридных архитектур и взаимодействия с облачными платформами. Рассматриваются ключевые аспекты проектирования, включая выбор архитектуры, настройку атрибутов маршрутов, фильтрацию и обеспечение безопасности. Особое внимание уделяется методам повышения отказоустойчивости, балансировки нагрузки и оптимизации маршрутизационной политики. Приводятся практические примеры и рекомендации, позволяющие повысить эффективность и стабильность работы корпоративной сети.

Ключевые слова: BGP, корпоративные сети, маршрутизация, оптимизация сети, отказоустойчивость, балансировка нагрузки, многопровайдерное подключение, безопасность сети, MPLS, SD-WAN.

Введение

Изначально BGP был создан для обмена маршрутизациями между автономными системами в интернете. Однако с развитием корпоративных сетей и сложных архитектур BGP стал важным инструментом для крупных предприятий, которым требуется подключение к нескольким провайдерам, гибкое управление трафиком и контроль маршрутизации. Внедрение BGP позволяет обеспечивать отказоустойчивость, балансировку нагрузки и реализацию сложных маршрутизационных политик, недоступных внутренним протоколам (OSPF, EIGRP). Современные корпоративные сети включают филиалы в разных странах, используют гибридные архитектуры (MPLS VPN, SD-WAN, IPsec) и взаимодействуют с облачными платформами (AWS, Azure, Google Cloud), что также требует применения BGP для динамической маршрутизации.

В условиях таких сложных сетевых топологий важно понимать принципы оптимизации и построения BGP, так как ошибки в конфигурации могут привести к ухудшению качества услуг, увеличению задержек и затрат. В отличие от внутренних протоколов маршрутизации, BGP ориентирован на устойчивость и масштабируемость, а не на скорость сходимости. Это накладывает особые требования к

архитектуре сети, выбору схем пиринга и настройке безопасности.

Цель статьи – рассмотреть принципы построения, анализа и оптимизации BGP в корпоративных сетях. В работе приводятся теоретические основы, архитектурные решения, практические примеры настройки, методы оптимизации и обеспечения безопасности, а также реальные сценарии применения BGP. Материалы статьи могут служить основой для проектирования новых сетей или модернизации существующих корпоративных инфраструктур.

1. Теоретические основы BGP в корпоративных сетях

Основным компонентом глобальной маршрутизации является протокол Border Gateway Protocol, который выполняет важную функцию в обмене маршрутной информацией между автономными системами (1). Этот протокол был придуман с той целью, чтобы провайдеры могли взаимодействовать. Однако с развитием корпоративных сетей и их сложностью выхода за рамки локальных внутренних протоколов (IGP) BGP стал широко использоваться в корпоративной инфраструктуре.

Он обеспечивает гибкое управление маршрутами, высокую масштабируемость и точную политику трафика в таких условиях, что делает его незаменимым для современных предприятий. Современные корпоративные сети имеют

сложную архитектуру и включают дата-центры, межрегиональные филиалы, каналы связи с несколькими провайдерами, автономные системы и доступ к облачным сервисам. Здесь нужен инструмент, который будет управлять трафиком и гарантировать непрерывную связь при отказе какого-либо канала. Благодаря этим инструментам и возможностям BGP стал не просто протоколом, а политикой компании.

1.1. Назначение протокола BGP

BGP используют для контроля трафика, выбора маршрута. В бизнес-среде он используется для того, чтобы реализовать подключение нескольких провайдеров и для поднятия сети MPLS, качественной работы VPN и для возможности подключения к Cloud платформам

Метод BGP дает предприятию возможность объявлять префиксы для внешних сетей и контролировать, какие маршруты внешних сетей будут использоваться, а также распределять трафик внутри собственной инфраструктуры. Протокол ориентирован на стабильность работы и предсказуемость поведения маршрутов, что важно для масштабируемых корпоративных архитектур. Это отличается от скорости сходимости внутренних протоколов.

1.2. Отличие BGP от внутренних протоколов маршрутизации

Что касается других протоколов, таких как OSPF или EIGRP, BGP отличается не только по

целям, но и по масштабу и принципу работы. В отличие от внутренних протоколов маршрутизации (IGP), которые предназначены для маршрутизации в пределах одного административного домена, BGP работает на границах автономных систем и является протоколом обмена маршрутами между доменами. Внутренние протоколы используют собственный механизм доставки пакетов, а BGP работает на протоколе TCP, что делает соединение надежным и стабильным. Выбор маршрута в BGP осуществляется на основе набора атрибутов, а не только метрики. Такие атрибуты создают сложную политику для выбора наилучшего пути. В традиционных внутренних протоколах сетевые администраторы не могли бы управлять такими вещами, как характеристики канала, стоимость трафика, предпочтение конкретного провайдера и так далее, которые не могут быть учтены этим методом. Самое значительное отличие – это масштабируемость. По мере увеличения числа маршрутов, другие протоколы становятся неэффективными из-за сложности, в то время как BGP способен обрабатывать тысячи и сотни тысяч маршрутов и используется в крупных корпоративных сетях.

2. Практическое построение BGP с двумя ISP

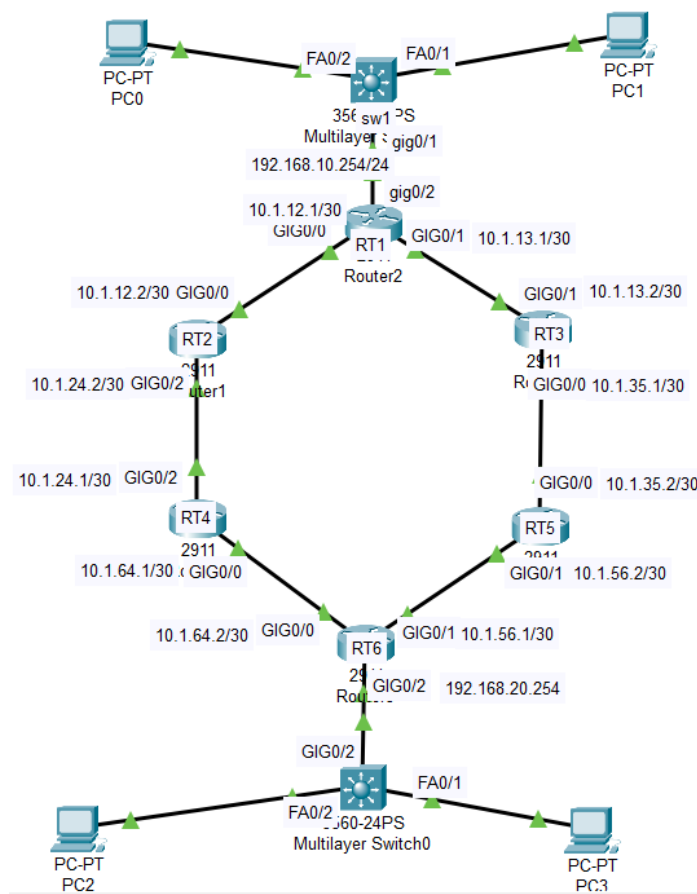


Рис. Топология сети с использованием BGP

В рамках данной лабораторной работы реализована модель корпоративной сети с подключением к двум независимым интернет-провайдерам с использованием протокола BGP в качестве механизма междоменной маршрутизации. Основной задачей являлось построение отказоустойчивой архитектуры, обеспечивающей непрерывность сетевого взаимодействия при отказе одного из внешних каналов, а также демонстрация принципов управления маршрутной политикой.

Топология построена по принципу распределённой магистрали с кольцевой структурой. Внутренняя часть сети объединяет шесть маршрутизаторов (RT1–RT6), соединённых point-to-point каналами с маской /30. Использование адресации /30 для магистральных соединений обусловлено рациональным расхождением IPv4-пространства и чёткой изоляцией каждого линка, что упрощает диагностику и анализ маршрутизации. Кольцевая схема обеспечивает альтернативные пути передачи данных между узлами и исключает наличие единственной точки отказа внутри автономной системы.

2.1. Адресное пространство и межмаршрутизаторские соединения

Магистральная часть сети реализована на основе следующих подсетей:

RT1 – RT2: сеть 10.1.12.0/30:

- RT1: 10.1.12.1;
- RT2: 10.1.12.2.

RT1 – RT3: сеть 10.1.13.0/30:

- RT1: 10.1.13.1;
- RT3: 10.1.13.2.

RT2 – RT4: сеть 10.1.24.0/30:

- RT4: 10.1.24.1;
- RT2: 10.1.24.2.

RT3 – RT5: сеть 10.1.35.0/30:

- RT3: 10.1.35.1;
- RT5: 10.1.35.2.

RT5 – RT6: сеть 10.1.56.0/30:

- RT6: 10.1.56.1;
- RT5: 10.1.56.2.

RT4 – RT6: сеть 10.1.64.0/30:

- RT4: 10.1.64.1;
- RT6: 10.1.64.2.

Такая схема формирует замкнутый контур, обеспечивающий два направления передачи данных между любыми узлами магистрали.

Сеть организации включает два пользовательских сегмента:

- Верхний LAN: **192.168.10.0/24**, шлюз по умолчанию 192.168.10.254 (интерфейс

многоуровневого коммутатора, подключённого к RT1);

- Нижний LAN: **192.168.20.0/24**, шлюз 192.168.20.254 (интерфейс маршрутизатора RT6).

Таким образом, внутренняя маршрутизация охватывает магистральные соединения и два независимых сегмента доступа.

2.2. Организация подключения к двум ISP

Ключевым элементом лабораторной работы является реализация dual-homing – подключения к двум автономным системам провайдеров. Каждый ISP представлен отдельной AS. Граничные маршрутизаторы организации устанавливают eBGP-сессии с соответствующими провайдерами через выделенные интерфейсы.

Сеть организации функционирует как самостоятельная автономная система, а маршрутизаторы RT1 и RT3 (в рамках данной модели) выполняют функции граничных узлов. Через них осуществляется анонс внутренних префиксов:

- 192.168.10.0/24;
- 192.168.20.0/24.

В сторону провайдеров передаются агрегированные маршруты пользовательских сетей, а от провайдеров принимаются маршруты внешних направлений (в учебной модели – маршрут по умолчанию либо тестовые префиксы).

2.3. Принципы маршрутизации и выбор оптимального пути

Особое внимание уделено анализу алгоритма выбора лучшего маршрута BGP. При наличии двух альтернативных направлений протокол выполняет последовательную проверку атрибутов:

1. Weight (локальный параметр Cisco);
2. Local Preference;
3. Длина AS-Path;
4. Тип происхождения маршрута (Origin);
5. Значение MED;
6. eBGP предпочтительнее iBGP;
7. Метрика до next-hop.

За счёт изменения значения Local Preference внутри автономной системы реализуется приоритизация одного из провайдеров для исходящего трафика. Для управления входящим трафиком применяется механизм AS-Path Prepending, искусственно увеличивающий длину пути через резервного провайдера.

2.4. Поведение сети при отказах

Кольцевая магистраль внутри автономной системы обеспечивает сохранение связности

даже при обрыве одного из линков. При потере соединения между соседними маршрутизаторами трафик автоматически перенаправляется по альтернативной стороне кольца.

В случае отказа одного из ISP происходит разрыв BGP-сессии, после чего маршруты данного провайдера удаляются из таблицы маршрутизации. Выполняется перерасчёт best-path, и трафик начинает передаваться через второго провайдера. Таким образом, достигается автоматическая конвергенция без ручного вмешательства.

Заключение

В ходе лабораторной работы была реализована отказоустойчивая сеть с двумя ISP, кольцевой магистралью и двумя пользовательскими сегментами. Продемонстрированы принципы междоменной маршрутизации, механизмы выбора оптимального пути BGP и методы управления трафиком.

Полученная модель отражает практический подход к построению корпоративной сети с многопровайдерным подключением, обеспечивая высокую доступность, гибкость политики маршрутизации и устойчивость к отказам каналов связи.

SEFERBEKOV Rasul Zakirovich

Master's Student,

Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Azerbaijan, Baku

Scientific Advisor – Associate Professor

of the Azerbaijan State University of Petroleum and Industry,

Candidate of Technical Sciences Aliev Goshgar

ANALYZING, CONFIGURING, AND OPTIMIZING BGP-BASED ROUTING IN CORPORATE NETWORKS

Abstract. *The article discusses the principles of analysis, configuration and optimization of routing based on the BGP protocol in corporate networks. The article highlights the features of using BGP in the context of multi-provider connections, hybrid architectures and interaction with cloud platforms. Key aspects of the design are considered, including architecture selection, route attribute configuration, filtering, and security. Special attention is paid to methods of increasing fault tolerance, load balancing and optimizing routing policy. Practical examples and recommendations are provided to improve the efficiency and stability of the corporate network.*

Keywords: *BGP, corporate networks, routing, network optimization, fault tolerance, load balancing, multi-router connectivity, network security, MPLS, SD-WAN.*

ТИМОФЕЕВА Елена Евгеньевна

магистрантка,

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, г. Уфа

Научный руководитель – доцент

Уфимского государственного нефтяного технического университета,

кандидат технических наук Малёшин Владимир Борисович

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ С УЧЕТОМ ВИБРАЦИОННЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы, связанные с повышением точности измерений массовых кориолисовых расходомеров и разработка комплексной математической модели кориолисового расходомера, описывающей совместное воздействие температуры и вибрации на измерительные характеристики, а также в создании алгоритма адаптивной коррекции фазовых искажений.

Ключевые слова: вибрация, температура, кориолисовый расходомер.

В современном мире на фоне последних политических событий и конфликтов на Ближнем Востоке, вследствие которого было зафиксировано значительное повышение цены на нефть, актуальной проблемой современной экономики является необходимость точного учета нефти и нефтепродуктов, что в свою очередь обуславливает все большие требования к точности приборов для измерения расхода.

Широкая область возможного применения обуславливает разнообразие сред, измерение массового расхода которых необходимо проводить. Измеряемые среды различаются по их физико-химическим свойствам: агрессивные и нейтральные, электро- и неэлектропроводные, жидкие (нефтепродукты, химические реактивы и щелочи, криогенные среды) и газообразные (природный и инертные газы, воздух, пар и др.), подаваемые по трубопроводам при различных статических давлениях [1].

Важно отметить, что для многих отраслей промышленности, таких как машиностроение, металлургическая промышленность, сельское хозяйство, пищевая промышленность, а в особенности для нефтегазовой промышленности – информация о расходе вещества требуется в единицах массы. Важно отметить, что в современных экономических условиях получает рост и развитие такой отрасли, как химическая промышленность.

Потребителями массовых расходомеров и счетчиков расхода является также химическое

производство, где в ходе химико-технологических процессов необходим учет масс реагентов, вступающих в реакции, и готовых продуктов.

Необходимость учета нефти и нефтепродуктов в массовых единицах обусловлено историческим процессом. Для измерения количества нефти в мире сложилось два стандарта. В США, где транспортировка сначала осуществлялась по железной дороге в бочках, а впоследствии – по нефтепроводу, проще всего было измерять нефть по объему. Для транспортировки нефти использовали 50-галлонные винные бочки (1 галлон в США равен 3,785 л). Чтобы учесть потери во время транспортировки, в пункте назначения оплачивалось только 42 галлона. Оплата и теперь производится из того же расчета. В других странах, преимущественно в Европе, нефть в основном транспортировали по морю. В этом случае более удобно определять вес (водоизмещение). В результате в США коммерческие операции с нефтью производятся в баррелях, а в Европе – чаще в тоннах.

Само понятие коммерческой операции приводит к созданию нормативной базы, согласно которой происходит учет нефти и нефтепродуктов. В России точность измерений массы нефти регламентирована, например, ГОСТ 8.587-2019 «Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений» [2]. В стандарте указаны пределы

допускаемой относительной погрешности для разных методов измерений:

- Для динамических измерений методом прямого измерения массы или косвенным методом с применением преобразователей расхода допускаемая относительная погрешность – не более 0,25%.

- При измерении массы нетто с учётом содержания воды допускаемая погрешность – 0,35%.

Повышение точности кориолисовых расходомеров в условиях реальной эксплуатации требует построения комплексной математической модели, описывающей совместное влияние вибрации, температуры и свойств транспортируемой среды на динамику измерительных трубок. Колебательная система расходомера рассматривается как упругодинамический объект с распределёнными параметрами, в котором изгибные колебания формируются под действием кориолисовой инерционной силы. Базой для моделирования служат уравнения Эйлера–Бернулли, дополненные членами, учитывающими массовую нагрузку потока, демпфирование и внешние вибрационные воздействия [3]. Введение кориолисовой составляющей позволяет связать механическую модель с фазовым измерительным каналом, определяющим массовый расход.

Температурное воздействие включается в модель через зависимость модуля упругости, плотности и коэффициента внутреннего затухания от температуры. Нагрев снижает изгибную жёсткость трубки, вызывает смещение собственной частоты и изменяет форму колебаний, а температурные градиенты приводят к появлению термоупругих напряжений и асимметрии между ветвями трубки [4]. Эти процессы усиливают чувствительность системы к вибрационным воздействиям и формируют дополнительную фазовую составляющую, влияющую на точность расходомерного сигнала. Вибрационные возмущения, передаваемые от насосного оборудования и трубопроводных конструкций, включаются в модель как вынуждающие силы, способные вызвать разностные частоты и рост фазового шума, особенно в диапазоне, близком к собственной частоте трубки [5].

Интеграция динамической и тепловой подсистем приводит к системе связанных дифференциальных уравнений второго порядка с

параметрами, зависящими от температуры и времени. Для численного решения применяется итерационная схема, реализованная в среде Python с использованием библиотек SciPy и NumPy, что позволяет на каждом шаге пересчитывать жёсткость, демпфирование и частоту в зависимости от температурного поля [6]. Численный эксперимент показывает, что при нагреве на 150–200°C собственная частота трубки уменьшается на 10–15%, а вибрационные воздействия с амплитудой 0,02–0,05g вызывают фазовые искажения до 0,3–0,4%, что сопоставимо с экспериментальными данными эксплуатации расходомеров на технологических линиях [7]. Полученная комплексная модель обеспечивает количественную оценку влияния совокупных факторов и формирует основу для разработки алгоритмов компенсации вибрационно-температурных искажений.

Выводы

Проведённое исследование было направлено на установление закономерностей влияния вибрации и температуры на расчёт массы и объёмного расхода кориолисового расходомера и на разработку практического механизма компенсации этих воздействий в реальных условиях эксплуатации. Анализ факторов и условий работы прибора показал, что метрологическая стабильность определяется не одним доминирующим параметром, а совместным действием термоупругих изменений жёсткости измерительных трубок, вариаций добротности колебательной системы, внешних вынужденных и случайных вибраций, а также монтажных нагрузок и геометрии обвязки.

Литература

1. Юрманов В.А., Гудков К.В., Люсев А.В. Математическое моделирование кориолисова расходомера. – Журнал «Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество», 2009.
2. ГОСТ 8.587-2019 Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений.
3. Разумов К.В. Конструкции и расчёт расходомеров вибрационного типа. – СПб.: Питер, 2017.
4. Метельков С.Е. Термоупругие напряжения в тонкостенных конструкциях. – М.: Машиностроение, 2017.

5. Смирнов А.В. Вибрации технологических трубопроводов: анализ и методы защиты. – М.: Техносфера, 2020.

6. Virtanen P. et al. SciPy: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. Nature Methods, 2020.

7. Marquardt T., Kunt M. Vibration Effects on Coriolis Mass Flow Meters. Journal of Sound and Vibration, 2017.

TIMOFEEVA Elena Evgenievna

Graduate Student, Ufa State Petroleum Technical University, Russia, Ufa

*Scientific Advisor – Associate Professor of Ufa State Petroleum Technical University,
Candidate of Technical Sciences Maleshin Vladimir Borisovich*

A COMPLEX MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS TAKING INTO ACCOUNT VIBRATIONAL AND TEMPERATURE EFFECTS

Abstract. *The article discusses the problems associated with improving the accuracy of mass Coriolis flow meters and developing a comprehensive mathematical model of a Coriolis flow meter that describes the combined effects of temperature and vibration on the measurement characteristics, as well as creating an adaptive phase distortion correction algorithm.*

Keywords: *vibration, temperature, coriolis flow meter.*

ШЕПТАЛОВ Дмитрий Денисович

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

ДЕРЕВЯНКО Петр Сергеевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

*Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России,
кандидат технических наук Егоров Игорь Юрьевич*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА РЕЖИМА VL-SNR СТАНДАРТА DVB-S2X И НИЗКОСКОРОСТНЫХ СХЕМ МОДУЛЯЦИИ И КОДИРОВАНИЯ DVB-S2

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ потенциала режима сверхнизкого отношения сигнал/шум (VL-SNR) стандарта DVB-S2X и низкоскоростных схем модуляции и кодирования стандарта DVB-S2. На основе спецификаций ETSI EN 302 307 и ETSI EN 302 307-2 рассматриваются структурные особенности кадра физического уровня (PLFRAME), включая модифицированные заголовки синхронизации и пилот-сигналы. Особое внимание уделяется оценке энергетической эффективности, устойчивости синхронизации в условиях экстремально низких значений C/N (до -10 дБ), а также целесообразности применения данных режимов в мобильных спутниковых системах связи и IoT-приложениях.

Ключевые слова: Стандарт DVB-S2X, режим сверхнизкого отношения сигнал/шум (VL-SNR), кадр физического уровня (PLFRAME), спутниковые системы связи, энергетическая эффективность, помехоустойчивость, спектральная эффективность, схемы модуляции и кодирования (MODCOD).

Современные спутниковые системы связи сталкиваются с требованиями работы в условиях экстремально низкого отношения сигнал/шум (SNR). Режим VL-SNR (Very Low Signal-to-Noise Ratio) стандарта DVB-S2X представляет собой технологическое развитие спецификации DVB-S2, предназначенное для устойчивой работы при SNR до -10 дБ. Данное исследование фокусируется на сравнительном анализе структуры кадра физического уровня (PLFRAME) обоих стандартов для оценки энергоэффективности и возможностей синхронизации.

В стандарте DVB-S2 (ETSI EN 302 307) базовой единицей передачи является кадр физического уровня (PLFRAME). Согласно разделу 5.5 спецификации, PLFRAME состоит из заголовка

физического уровня (PLHEADER) и полезной нагрузки (XFECFRAME).

PLHEADER занимает ровно один слот (90 символов) и включает:

- SOF (Start of Frame): 26 символов для обнаружения начала кадра.
- PLS Code (Physical Layer Signalling): 64 символа, несущие информацию о схеме модуляции и кодирования (MODCOD) и типе кадра.

Пилот-символы (36 символов) могут вставляться каждые 16 слотов для облегчения синхронизации приемника, однако их использование является опциональным и снижает полезную пропускную способность на 2,4%. Принципы работы режима VL-SNR: модуляция и кодирование для сверхнизкого отношения сигнал/шум.

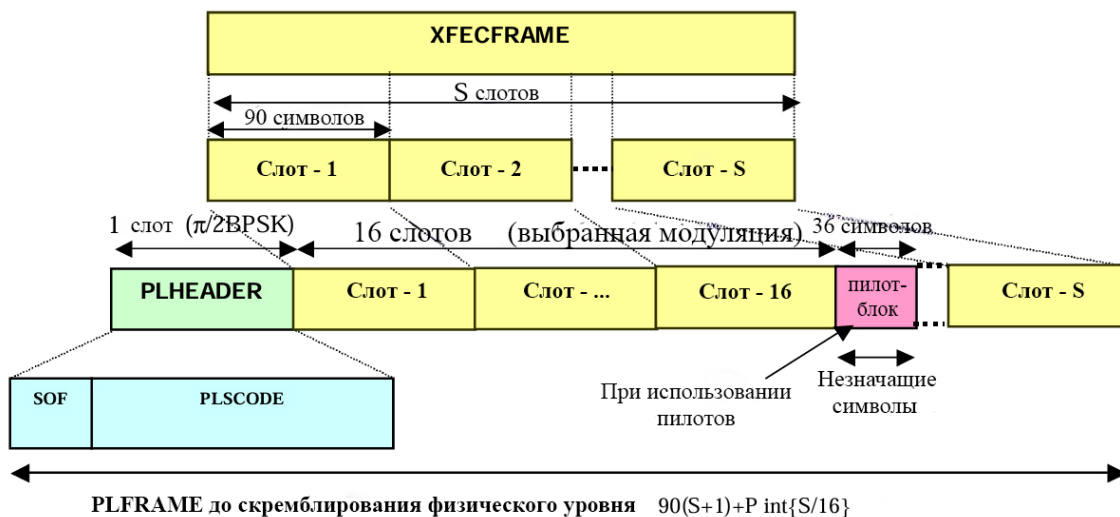


Рис. 1

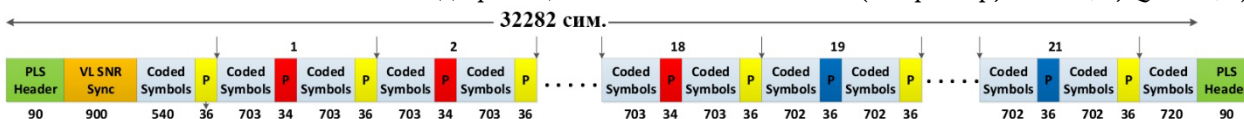
Низкоскоростные режимы DVB-S2 (например, QPSK 1/4) обеспечивают работу при SNR до -2,35 дБ (BER 10⁻⁷). Однако при снижении SNR ниже -5 дБ эффективность декодирования LDPC-кодов резко падает из-за ограничений итеративного алгоритма, что делает стандарт неприменимым в условиях глубоких замираний.

Стандарт DVB-S2X (ETSI EN 302 307-2) вводит специализированные кадры VL-SNR для работы в экстремальных условиях. Ключевое отличие заключается в модификации

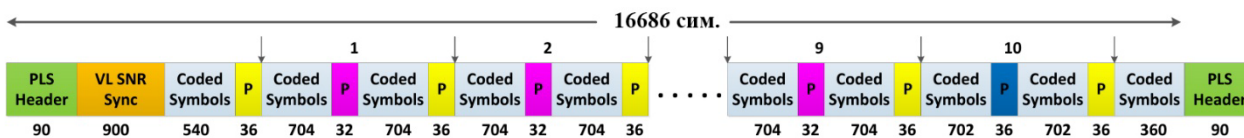
структуры заголовка для обеспечения синхронизации при уровнях сигнала, недоступных для стандартного декодирования PLS-кода.

Согласно Приложению В спецификации DVB-S2X, кадр VL-SNR включает:

- Стандартный PLHEADER: 90 символов (совместимый с DVB-S2).
- VL-SNR Header: дополнительный заголовок синхронизации длиной 900 символов.
- XFEFRAME: полезная нагрузка с использованием специфических низкоскоростных MODCOD (например, BPSK 1/5, QPSK 2/9).



Структура кадра физического уровня (PLFRAME) для модуляции QPSK нормальной длины кадра (64800) в режиме VL-SNR



Структура кадра физического уровня (PLFRAME) для модуляции 16 APSK нормальной длины кадра (64800) в режиме VL-SNR

Рис. 2

Дополнительный заголовок позволяет терминалам выполнять синхронизацию в пакетном режиме (burst mode) при SNR значительно ниже порога декодирования основного заголовка. Это достигается за счет использования специальных последовательностей Уолша-Адамара длиной 900 символов, обеспечивающих высокую корреляционную пиковость даже в шумах.

Сравнение структур выявляет компромисс между накладными расходами и устойчивостью синхронизации:

- Накладные расходы: введение VL-SNR Header увеличивает служебные расходы кадра. Однако это компенсируется возможностью работы в каналах, где стандартный DVB-S2 теряет синхронизацию полностью.
- Энергетическая эффективность: режим VL-SNR обеспечивает улучшение

энергетической эффективности на 30–45% по сравнению с предельными режимами DVB-S2 за счет оптимизированных матриц проверки четности LDPC и расширенного заголовка синхронизации.

- BER и Пороги: экспериментальные данные подтверждают достижение $BER=10^{-7}$ при $SNR=-11$ дБ для VL-SNR, тогда как предел для DVB-S2 составляет около -2,5 дБ.

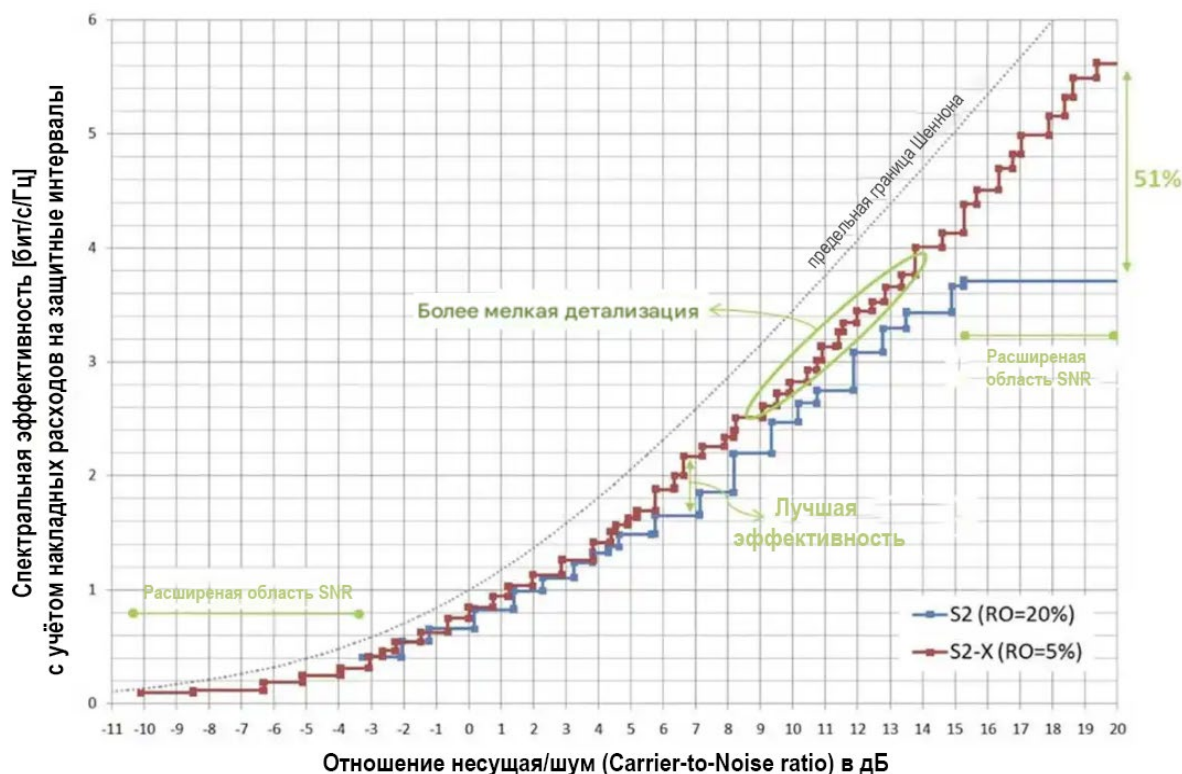


Рис. 3

Режим VL-SNR стандарта DVB-S2X демонстрирует существенные преимущества в условиях экстремально низкого отношения сигнал/шум (SNR), что подтверждается результатами сравнительного анализа. Данный режим рекомендован для применения в спутниковых системах связи, работающих при сильных атмосферных осадках или с компактными терминалами, где традиционные схемы DVB-S2 не обеспечивают необходимой надежности передачи. Особенности модуляции и кодирования VL-SNR позволяют достигать устойчивой связи при SNR ниже -5 дБ, что расширяет эксплуатационные возможности систем в критических условиях.

Для каналов связи с умеренным SNR (выше -5 дБ) стандартные низкоскоростные схемы DVB-S2 остаются предпочтительным выбором благодаря их меньшей вычислительной сложности и достаточной эффективности. Анализ энергопотребления и ресурсоемкости показывает, что использование DVB-S2 в данном диапазоне обеспечивает оптимальный баланс между производительностью и затратами. Применение режима VL-SNR в таких условиях становится нецелесообразным из-за

избыточных требований к обработке сигнала без значимого выигрыша в качестве связи.

Проведенный анализ структуры PLFRAME подтверждает превосходство режима VL-SNR стандарта DVB-S2X в условиях экстремально низкого SNR (ниже -10 дБ). Ключевым фактором успеха является введение дополнительного заголовка синхронизации длиной 900 символов, отсутствующего в DVB-S2.

Режим VL-SNR рекомендован для спутниковых систем с мобильными терминалами и IoT-приложениями, где доминируют ограничения по мощности сигнала. Традиционные схемы DVB-S2 остаются целесообразными лишь при умеренном SNR (выше -6 дБ), где меньшая вычислительная сложность обеспечивает оптимальный баланс производительности. Результаты исследования обосновывают выбор VL-SNR как стандарта для перспективных систем космического интернета.

Литература

1. Антюфриева Л.А., Янситов К.К., Дворкович А.В. Алгоритмы синхронизации физического уровня для сигнально-кодовой конструкции, повышающей помехоустойчивость

режима vl-snr стандарта dvb-s2x // Журнал радиоэлектроники. – 2021. – № 8. – С. 1-5.

2. Гриценко А.А. Перспективные спутниковые системы связи, вещания и передачи данных // Международный телекоммуникационный саммит. – Москва, 2021. – С. 1-5.

3. Жданова И.М., Дворников С.С., Дворников С.В. Модель и условия возникновения аномалий в демодулированном трафике абонентских терминалов VSAT // Системы управления, связи и безопасности. – 2025. – № 1. – С. 105-130.

4. Маслаков П.А., Солнцев А.В. Влияние нелинейности усилителя мощности ретранслятора на помехоустойчивость спутниковых радиолиний с когерентной фазовой модуляцией // Материалы, технологии и исследования. – 2021. – № 9. – С. 149-153.

5. Сатдинов А.И., Смирнов А.А., Дворовой М.О. и др. Повышение частотно-энергетической эффективности радиолиний спутниковой связи в режиме псевдослучайной

перестройки рабочей частоты // Альманах современной науки и образования. – 2016. – № 4. – С. 109-112.

6. EN 302 307-2 V1.2.1 2020. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB-S2X). – Sophia Antipolis, Франция, 2020.

7. EN 302 307 V1.1.1 2005. ETSI EN 302 307 – Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications. – Sophia Antipolis, France, 2004.

8. TR 102 376-2 April 2020. Implementation guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: S2 Extensions (DVB-S2X). – Sophia Antipolis, France, 2020.

SHEPTALOV Dmitry Denisovich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

DEREVYANKO Petr Sergeevich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

*Scientific Advisor – Employee of the Academy of the Federal Protective Service of Russia,
Candidate of Technical Sciences Egorov Igor Yurievich*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE VL-SNR MODE POTENTIAL IN THE DVB-S2X STANDARD AND LOW-SPEED MODULATION AND CODING SCHEMES IN DVB-S2

Abstract. *The article presents a comparative analysis of the potential of the Very Low Signal-to-Noise Ratio (VL-SNR) mode of the DVB-S2X standard and low-speed modulation and coding schemes of the DVB-S2 standard. Based on the ETSI EN 302 307 and ETSI EN 302 307-2 specifications, the structural features of the Physical Layer Frame (PLFRAME) are examined, including modified synchronization headers and pilot signals. Special attention is paid to evaluating energy efficiency, synchronization robustness under extremely low C/N values (down to -10 dB), as well as the feasibility of applying these modes in mobile satellite communication systems and IoT applications.*

Keywords: *DVB-S2X Standard, Very Low Signal-to-Noise Ratio mode (VL-SNR), Physical Layer Frame (PLFRAME), satellite communication systems, energy efficiency, signal-to-noise ratio, spectral efficiency, modulation and coding schemes (MODCOD).*

ВОЕННОЕ ДЕЛО

БУДКО Владимир Сергеевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

САЛИХОВ Роман Юрьевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

*Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России,
кандидат технических наук Андросов Алексей Юрьевич*

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАЗВЕДКИ МЕСТНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВОЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ

Аннотация. В условиях современных специальных военных операций разведка местности приобретает критическое значение: она обеспечивает тактическое превосходство, снижает риски для личного состава и повышает общую эффективность боевых действий. На этом фоне всё большую роль играют беспилотные авиационные системы (БАС), которые за последние годы превратились из вспомогательного инструмента в один из ключевых элементов сбора и анализа разведывательных данных. В данной статье рассматривается эволюция подходов к разведке с использованием БАС, анализируются их технические и тактические возможности, а также выявляются как преимущества, так и ограничения, с которыми сталкиваются военные в реальных условиях специальных военных операций. Особое внимание уделяется тому, как новые технологии – от мультиспектральной съёмки до искусственного интеллекта – трансформируют саму природу разведывательной деятельности.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, разведка местности, специальная военная операция, тактическая разведка, мультиспектральная съёмка.

Современные вооружённые конфликты, особенно в формате специальных военных операций, характеризуются высокой динамикой, неопределённостью обстановки и необходимостью принимать решения в условиях неполной или противоречивой информации. В таких условиях разведка перестаёт быть вспомогательной функцией и становится центральным элементом боевого управления. От качества и своевременности разведанных напрямую зависит способность подразделений адаптироваться к изменяющейся ситуации, избегать засад, эффективно использовать огневые средства и минимизировать потери среди личного состава.

Актуальность настоящего исследования обусловлена кардинальными изменениями в характере ведения боевых действий, где информационное превосходство стало

определяющим фактором успеха. В условиях активного применения противником средств маскировки, мобильных групп и асимметричных тактик традиционные методы разведки – такие, как наземная рекогносцировка или спутниковая съёмка – всё чаще оказываются недостаточными по оперативности, детализации или безопасности. На этом фоне беспилотные авиационные системы (БАС) вышли на передний край разведывательного обеспечения, демонстрируя уникальное сочетание мобильности, доступности, многофункциональности и низкого риска для личного состава. Их массовое применение в ходе проведения специальных военных операций подтвердило не только практическую ценность, но и необходимость системного осмысления новых подходов к организации разведки на основе БАС.

Несмотря на растущее количество публикаций, посвящённых техническим характеристикам дронов или отдельным тактическим эпизодам их применения, остаётся недостаточно комплексных исследований, рассматривающих современные методы разведки местности с использованием БАС, именно в контексте специальных военных операций. Особенно слабо представлены работы, анализирующие интеграцию БАС в единую систему боевого управления, роль искусственного интеллекта в автоматизации разведки и уязвимости, возникающие при массовом развёртывании беспилотных комплексов в условиях активного радиоэлектронного противодействия.

Целью настоящего исследования является анализ современных методов разведки местности с применением беспилотных авиационных систем в ходе проведения специальных военных операций, а также выявление ключевых тенденций, тактических преимуществ, операционных ограничений и перспектив развития данного направления. В отличие от большинства существующих исследований, сфокусированных преимущественно на технической стороне вопроса, в настоящей статье предпринята попытка системного анализа разведывательной деятельности на основе БАС как целостного процесса, включающего не только сбор данных, но и их обработку, интерпретацию, передачу и применение в реальном времени. Особое внимание уделено взаимосвязи между технологическими возможностями (мультиспектральная съёмка, РЭР, ИИ) и тактическими потребностями современного боя, а также выявлению скрытых ограничений, которые могут свести на нет техническое преимущество при некорректном применении.

Наиболее зрелым и широко применяемым методом остаётся визуальная и оптико-электронная разведка. Современные камеры, дополненные гиросtabilизированными платформами, обеспечивают чёткое изображение даже при сильном ветре или на больших скоростях. Тепловизионные каналы позволяют вести наблюдение в ночное время или при ограниченной видимости, что особенно важно в условиях, когда противник стремится использовать темноту для маскировки своих действий.

Однако за последние годы разведка на основе БАС существенно расширила свои горизонты. Одним из важнейших направлений стало развитие мультиспектральной и гиперспектральной съёмки. Эти технологии

позволяют не просто фиксировать форму объекта, но и анализировать его спектральные характеристики. Например, свежая земля в окопе отражает свет иначе, чем окружающая местность, что позволяет выявить недавно подготовленные позиции. Аналогично, маскировочные сети, даже если они визуально сливаются с ландшафтом, часто имеют иной тепловой или спектральный профиль, что делает их уязвимыми для обнаружения.

Ещё одним значимым направлением стало развитие радиоэлектронной разведки. БАС, оснащённые комплексами перехвата и пеленгации, способны не только обнаруживать источники радиоизлучения – мобильные телефоны, рации, радары ПВО – но и оперативно передавать их координаты для последующего подавления или уничтожения. Это особенно актуально в условиях, когда противник активно использует цифровые коммуникации и беспилотные комплексы, управляемые по радиоканалу.

Помимо сбора информации, БАС всё чаще выполняют функции корректировки огня. Лазерное целеуказание, интегрированное в разведывательные комплексы, позволяет с высокой точностью наводить артиллерию, реактивные системы залпового огня и авиацию. В ряде случаев один и тот же аппарат может сначала обнаружить цель, затем подсветить её лазером, а после – подтвердить факт поражения, тем самым замыкая полный цикл «обнаружение – наведение – оценка».

И, наконец, нельзя не упомянуть о роли искусственного интеллекта (ИИ). Алгоритмы машинного обучения уже сегодня способны автоматически распознавать типы техники, выявлять аномалии на местности (например, нехарактерные следы или изменения рельефа) и даже прогнозировать поведение противника на основе анализа видеопотока и исторических данных. Это не просто ускоряет обработку информации – это меняет сам подход к принятию решений, делая его более проактивным и предиктивным. Например, система может предупредить командира о вероятности засады на маршруте движения колонны, основываясь на анализе поведения противника в аналогичных ситуациях ранее.

Все перечисленные методы объединяет одно – они дают командирам на местах беспрецедентный уровень осведомлённости при минимальных рисках. БАС позволяют «заглянуть за холм», не отправляя туда разведгруппу,

которая может быть обнаружена или попасть под огонь. Они обеспечивают постоянный мониторинг участков местности, ранее считавшихся «слепыми зонами» – например, лесных массивов, оврагов или городских кварталов.

Кроме того, малые БАС отличаются высокой мобильностью и простотой развёртывания: их можно запустить с любого участка, не требуя подготовленной инфраструктуры. Это особенно важно в условиях быстро меняющейся обстановки, характерной для СВО, где фронт может смещаться ежедневно, а тактическая инициатива переходит от одной стороны к другой.

Наконец, стоимость эксплуатации БАС значительно ниже, чем у пилотируемой авиации или спутниковых систем. Даже при высоком уровне потерь (что неизбежно в условиях активного противодействия) их применение остаётся экономически оправданным. Это делает БАС доступными даже на уровне батальона, где ранее подобные средства были недоступны.

В совокупности эти факторы превращают БАС в универсальный инструмент, способный решать широкий спектр задач – от наблюдения и целеуказания до оценки результатов ударов и контроля за перемещением гражданского населения в зонах боевых действий.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, применение БАС в реальных боевых условиях сопряжено с рядом серьёзных вызовов. Прежде всего, это радиоэлектронное подавление. Глушение каналов управления и передачи данных может полностью вывести аппарат из строя, превратив его в бесполезный объект или даже угрозу для собственных войск (в случае потери контроля).

Другой проблемой является уязвимость перед средствами противовоздушной обороны. Даже малозаметные дроны могут быть обнаружены с помощью современных РЛС, акустических систем или оптико-электронных комплексов, а затем уничтожены с помощью переносных зенитных ракетных комплексов (ПЗРК), стрелкового оружия или специализированных РЭБ-систем, подавляющих навигацию по GPS/ГЛОНАСС.

Кроме того, большинство тактических БАС имеют ограниченное время полёта – обычно не более 1-2 часов, что требует частой замены аппаратов или наличия мобильных пунктов зарядки и технического обслуживания. Погодные условия также остаются существенным

ограничением: сильный ветер, дождь, снегопад или туман могут сделать полёт невозможным или снизить качество получаемых данных.

Исходя из изложенной информации, нельзя игнорировать правовые и этические аспекты. Применение БАС в населённых пунктах требует соблюдения норм международного гуманитарного права, особенно в части минимизации ущерба гражданскому населению. Неправомерное использование разведанных может привести к ошибочным ударам, что подрывает доверие местного населения и создаёт политические риски.

Учитывая эти вызовы, будущее разведки с использованием БАС видится не в увеличении возможностей отдельных аппаратов, а в создании интегрированных, самоорганизующихся систем. Одним из наиболее перспективных направлений является концепция «роя» – группы взаимодействующих дронов, способных самостоятельно координировать свои действия, распределять задачи и обеспечивать непрерывное покрытие большой территории. При этом потеря одного или нескольких аппаратов не приводит к срыву всей операции.

Ещё важнее – интеграция БАС в единую информационно-управляющую систему. Когда данные с дронов, спутников, наземных датчиков, разведгрупп и средств РЭБ объединяются в единую цифровую карту боя, командование получает не просто фрагментарную информацию, а целостную, динамически обновляемую картину ситуации. Это позволяет не только реагировать на угрозы, но и предугадывать их.

Развитие автономности и искусственного интеллекта позволит БАС не только собирать данные, но и принимать первичные решения – например, выбирать оптимальный маршрут облёта с учётом угроз, выделять приоритетные цели или даже предлагать варианты манёвра подразделениям. А применение stealth-технологий, новых композитных материалов и систем маскировки сигнатур поможет снизить заметность аппаратов в радио- и инфракрасном диапазонах, повышая их живучесть в условиях активного противодействия.

Таким образом, беспилотные авиационные системы уже сегодня являются неотъемлемой частью разведывательного обеспечения в ходе специальных военных операций. Их применение трансформирует саму природу разведки – делая её более оперативной, точной, безопасной и доступной на всех уровнях управления. Однако эта трансформация не завершена. Для

того чтобы БАС могли в полной мере реализовать свой потенциал, необходимо не только совершенствовать сами аппараты, но и развивать методы их применения, повышать устойчивость к радиоэлектронному подавлению и обеспечивать глубокую интеграцию в общую систему боевого управления.

В условиях, когда преимущество всё чаще определяется не количеством, а качеством и скоростью обработки информации, разведка на основе БАС становится не просто вспомогательным инструментом, а ключевым фактором успеха на современном поле боя. Будущее принадлежит тем армиям, которые сумеют не только внедрить передовые технологии, но и выстроить вокруг них гибкие, адаптивные и устойчивые тактические процессы.

Литература

1. Военная энциклопедия: в 8 т. / под общ. ред. С.Б. Иванова. – М.: Воениздат, 2023. – Т. 3. – 640 с.
2. Петров А.В. Беспилотные технологии в современной войне / А.В. Петров. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2024. – 312 с.
3. Ковалёв И.С. Разведка в условиях гибридной войны: роль БАС / И.С. Ковалёв // Военная мысль. – 2024. – № 4. – С. 78-89.
4. Министерство обороны Российской Федерации. Тактическое руководство по применению беспилотных авиационных систем в ходе специальных военных операций. – М., 2025. – 142 с.
5. Фёдоров Д.Н. Интеграция БАС в единую систему управления войсками / Д.Н. Фёдоров, Е.А. Смирнов // Армейский сборник. – 2025. – № 1. – С. 54-61.
6. Григорьев С.А. Противодействие беспилотным системам противника: тактика и технологии / С.А. Григорьев // Вестник войск ПВО. – 2024. – № 3. – С. 33-41.
7. Руководство по боевому применению разведывательных БАС (РБ-2024). – М.: Главное управление боевой подготовки ВС РФ, 2024. – 98 с.

BUDKO Vladimir Sergeevich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Oryol

SALIKHOV Roman Yurievich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Oryol

*Scientific Advisor – employee of the Academy of the Federal Protective Service of Russia,
Candidate of Technical Sciences Androsov Alexey Yurievich*

ANALYSIS OF MODERN METHODS OF TERRAIN RECONNAISSANCE USING UNMANNED AERIAL SYSTEMS DURING SPECIAL MILITARY OPERATIONS

Abstract. *In the context of modern special military operations (SVO), terrain reconnaissance has become critical: it provides tactical superiority, reduces risks for personnel, and increases the overall effectiveness of combat operations. In this context, unmanned aerial systems (UAS) have played an increasingly important role, transforming from an auxiliary tool to a key element of intelligence support in recent years. This article examines the evolution of approaches to intelligence gathering using BAS, analyzes their technical and tactical capabilities, and identifies both the advantages and limitations faced by the military in the real conditions of the CVO. Special attention is paid to how new technologies, from multispectral imaging to artificial intelligence, are transforming the very nature of intelligence activities.*

Keywords: *unmanned aerial systems, terrain reconnaissance, special military operations, tactical reconnaissance, and multispectral imaging.*

ВЕРШКОВ Алексей Станиславович

сотрудник, кандидат педагогических наук, доцент,
Академия ФСО России, Россия, г. Орёл

АРЕЩЕНКО Евгений Дмитриевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орёл

ВИНОКУРОВ Савелий Артемович

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орёл

СПОСОБЫ ЭВАКУАЦИИ РАНЕНОГО С ПОЛЯ БОЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению различных методов эвакуации, переноски и перетаскивания раненых с поля боя в экстремальных ситуациях. Основное внимание уделено аспектам, связанным с безопасностью и эффективностью спасения пострадавших в условиях ограниченных ресурсов и высокой опасности. Описаны основные техники и стратегии, используемые в современной военной и тактической медицине.

Ключевые слова: спасение пострадавших, методы эвакуации, военная медицина, тактическая медицина, переноска раненых, перетаскивание раненых, транспортировка раненых, экстремальные ситуации.

Тактическая медицина в современном понимании этого термина, прежде всего реализованный системный подход к медицинской помощи в условиях экстремальных ситуаций, таких как военные конфликты, теракты или природные происшествия [1, с. 26-30], включающий в себя комплекс мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья пострадавших (раненых), учитывающий одновременно максимально эффективное использование медицинских ресурсов и координацию действий специализированных различных не только медицинских служб и отделов. При этом порой эвакуация, решая главную роль представляет собой комплекс мероприятий, направленных на транспортировку раненых из зоны потерь к медицинским пунктам и лечебным учреждениям для обеспечения своевременной и полной медицинской помощи, и последующего лечения.

Эвакуация вынужденная мера, продиктованная невозможностью обеспечить лечение непосредственно вблизи места боевых действий. Она служит инструментом для достижения оптимальных результатов в предоставлении медицинской помощи и лечения. Для транспортировки раненых необходимо использовать самые безопасные и скоростные

средства медицинской эвакуации. Путь, по которому осуществляется вынос и транспортировка раненых в тыл, получил наименование пути медицинской эвакуации. Совокупность путей эвакуации, развернутых на них этапов медицинской эвакуации и работающих санитарно-транспортных средств, обеспечивающих определенную, как правило, крупную группировку войск, получила название эвакуационного направления.

Целью эвакуации является максимально быстрая доставка раненых к месту, где возможно предоставление необходимой помощи, уменьшение смертности раненых и предупреждение развития осложнений [2], при этом собственная безопасность спасателя – это скорость, а в итоге его жизнь и жизнь раненого. Общее правило спасателя – при перемещении не должна нагружаться спина: спина прямая, нагрузка перенесена на ноги.

1. Эвакуация одним спасателем:

- экстренная эвакуация раненого волоком;
- оттаскивание на боку – спасатель ложится боком к раненому, помещает его голову себе на грудь, а тело на подтянутую и согнутую в колене ногу, далее перемещается на боку, отталкиваясь от земли свободной ногой и локтем

одной руки, а другой рукой поддерживает раненого;

- использование захвата «Раутека» или универсального захвата, который позволяет перемещать раненого в бессознательном состоянии, используя наименее пострадавшую руку раненого как своеобразную «ручку» для переноски;
- оттаскивание на спине – спасатель укладывает раненого на бок, ложится рядом с ним, прижавшись спиной к груди раненого, и осторожно подводит свою слегка согнутую ногу под его ноги, захватывает рукой его одежду в районе ягодиц и сильным движением подтягивает раненого к себе на спину;
- перенос на руках или на спине.

При потере сознания раненого переносят на правом плече таким образом, чтобы он лежал лицом вниз, голова свисала на спину, а ноги находились у груди спасателя. Правая рука спасателя удерживает ноги раненого и его правую руку.

2. Эвакуация двумя (тремя) спасателями не допускает переноску «спиной вперед», спасатели должны видеть и двигаться в одном направлении. Оружие всегда должно быть готово к открытию огня. При переноске один из спасателей поддерживает раненого за спину и ягодицы, второй подводит руки под колени и голени. Раненый обхватывает шею спасателя руками. Спасатели могут скрестить руки и использовать способ переноски раненого путем создания «сиденья».

3. Вынос (вытаскивание) раненого с использованием эвакуационной стропы (троса) может быть осуществлен несколькими способами, при этом выдвигание к раненому прикрывается дымом, либо подавляющим огнем [3]:

При отсутствии эвакуационной стропы для эвакуации раненого может использоваться веревка со скользящей петлей, которая накидывается на раненого, после чего раненого вытягивают в укрытие.

4. Эвакуация на носилках применяется при необходимости переноса на большие расстояния [4].

Оттаскивание раненого на волокушах – с помощью жёстких, негнущихся волокуш (например, стандартная лодка-волокуша, лыжи или самодельные волокуши из досок, фанеры, жести) является самым щадящим методом.

Плюсы:

- мобильность (можно использовать практически в любых условиях, включая сложные ландшафты, где обычные носилки будут неэффективны);
- простота конструкции (состоят из простого каркаса и платформы, что делает их легкими и удобными для транспортировки);
- экономия сил (требуется меньше физических усилий спасателей);
- универсальность (может быть использоваться не только для людей, но и для транспортировки снаряжения, припасов или других грузов);
- устойчивость (из-за конструкции, устойчивы даже на неровной поверхности, что снижает риск травмы раненого при транспортировке).

Минусы:

- ограниченная мобильность в городских условиях (менее эффективны, поскольку требуют больше пространства для маневров);
- необходимость специальных навыков (требуют определенных навыков от спасателей, чтобы избежать повреждения спины или ног);
- неудобство для длительного использования (могут вызывать усталость и дискомфорт у спасателей, особенно на больших расстояниях);
- недостаточная защита от внешних факторов (воздействие окружающей среды, что увеличивает риск переохлаждения или обморожения);
- трудности при подъеме и спуске (перемещение вверх или вниз по склону может быть сложным, требуя дополнительных мер предосторожности).

Использование рамочных (штанговых) носилок – более прочная конструкция, состоящая из металлической рамы и тканевого ложа. Такие носилки обеспечивают лучшую поддержку тела раненого и могут использоваться как вручную, так и с помощью специального оборудования.

Плюсы:

- прочность и надежность (жесткая конструкция обеспечивает надежную поддержку тела раненого);
- удобство для пострадавшего (жесткая рама стабильно поддерживает тело раненого, снижая вероятность дополнительных травм и болевых ощущений);

- возможность использования в сложных условиях (из прочных материалов, что позволяет использовать их в различных условиях);
- компактность и удобство хранения (складные, что облегчает их хранение и транспортировку до момента использования);
- многофункциональность (могут быть адаптированы под различные типы транспортных средств, что упрощает процесс эвакуации);
- легкость в управлении (легче контролировать и управлять ими, особенно при движении по неровной поверхности или лестнице).

Минусы:

- вес (тяжелее традиционных полотняных носилок);
- громоздкость (затрудняет их перемещение в ограниченном пространстве, таком как узкие коридоры или двери);
- стоимость (стоят дороже, чем другие типы носилок);
- требуют больше времени (сборка и подготовка к использованию);
- ограниченное количество пользователей (обычно требуют больше человек, что может быть проблемой в ситуациях, когда ресурсы ограничены).

В случаях определенных травм, например переломов (таза, позвоночника, бедра), а также при некоторых ранениях, подъем и укладка раненого на носилки должны производиться с минимальными движениями, чтобы избежать дополнительных повреждений. Для этого необходима четкая координация действий спасателей и соблюдение правил переноски: поднимать и опускать носилки следует одновременно, спасателям не рекомендуется идти в ногу, обычно раненого переносят головой вперед, при подъеме (спуске) задние (передние) спасатели перекаладывают ручки носилок на

плечи, чтобы поддерживать горизонтальное положение носилок.

5. Перевозка раненых различным транспортом осуществляется с помощью бронированных медицинских машин БММ, боевые машины БТР и БМП, а также специально приспособленного санитарного транспорта (например, легкий гусеничный транспортер МТ-ЛБ, колесный УАЗ-3962, новая военно-медицинская машина «Линза», мотовездеход «Алабай») прекрасно зарекомендовавшие себя на специальной военной операции, что значительно облегчает организацию эвакуации под огнем противника.

Таким образом, рассмотрены различные способы и методы эвакуации с поля боя в экстремальных ситуациях, связанных с безопасностью и эффективностью спасения раненых в условиях ограниченных ресурсов и высокой опасности.

Литература

1. Горбунова Н.В., Тertiщенко И.М., Со рокин В.Г., Шифрин Ю.Б. Опыт применения тактической медицины при оказании медицинской помощи при экстремальных ситуациях // Независимый военно-медицинский журнал, 2015. – № 3 (45). – С. 26-30.
2. Ашмарин Д.В. Оказание первой помощи раненым на поле боя (тактическая медицина): учебное пособие / Москва: Планета, 2021. – 176 с.
3. Оказание первой помощи на поле боя (тактическая медицина): учебно-методическое пособие / А.Н. Катулин и др. Москва: Учебный центр тактической медицины, 2022. – 130 с.
4. Первая помощь в условиях боевых действий: учебно-методическое пособие / А.Н. Катулин и др. Москва: Издательство АСТ, 2022. – 114 с.

VERSHKOV Aleksey Stanislavovich

Employee, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

ARESHCHENKO Evgeny Dmitrievich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

VINOKUROV Savely Artemovich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

**METHODS OF EVACUATION OF THE WOUNDED
FROM THE BATTLEFIELD IN EXTREME SITUATIONS**

Abstract. *The article is devoted to the consideration of various methods of evacuation, carrying and dragging the wounded from the battlefield in extreme situations. The main focus is on aspects related to the safety and effectiveness of rescuing victims in conditions of limited resources and high danger. The basic techniques and strategies used in modern military and tactical medicine.*

Keywords: *rescue of victims, evacuation methods, military medicine, tactical medicine, carrying the wounded, dragging the wounded, transporting the wounded, extreme situations.*

ФОМИН Егор Алексеевич
сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России Булгаков Алексей Александрович

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТАКТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ

Аннотация. В статье рассматриваются инфекционные осложнения боевых ран, которые следует считать крайне загрязнёнными и потенциально инфицированными из-за нестерильных условий, наличия инородных тел (осколки, грязь, ткань одежды) и задержки эвакуации. Описаны клинические признаки локальной и системной инфекции: классические симптомы воспаления (*dolor, rubor, calor, tumor*) и специфические проявления некротизирующих инфекций – газовой гангрены и некротизирующего фасциита. Перечислены основные возбудители – грамположительные и грамотрицательные бактерии, анаэробы и грибы – с учётом сроков госпитализации и факторов риска. Подчёркнута необходимость неотложного хирургического вмешательства (дебридмент, дренирование) как ключевого элемента профилактики и лечения раневых инфекций.

Ключевые слова: боевые ранения, раневая инфекция, эвакуация раненых, системные проявления инфекции.

Современные военные конфликты, характеризующиеся боевыми действиями в городах и асимметричными тактиками, требуют обновления подходов к медицинскому обеспечению. Эффективность тактической медицины напрямую влияет на боеспособность войск, а интеграция экстренной эвакуации и передовой стабилизации раненых – ключ к снижению потерь. Исследование анализирует эволюцию медицинских протоколов с начала 2000-х, особенно в ходе операций на Ближнем Востоке и гибридных конфликтов, выявляя связь между изменениями в тактике и адаптацией медицинского обеспечения.

Актуальность работы обусловлена несоответствием существующих протоколов реалиям современных конфликтов, что ведёт к задержкам в помощи и высокой летальности от предотвратимых причин. Это требует пересмотра доктрин. Практическая значимость заключается в разработке научно обоснованных решений для модернизации военно-медицинского обеспечения в условиях растущей глобальной напряжённости, что позволит улучшить нормативную базу и подготовку медперсонала, повысив оперативную готовность вооружённых сил. Массовые потери в войнах XIX века, таких как Крымская (1853–1856) и Франко-прусская (1870–1871), потребовали

системного подхода к организации помощи раненым.

Стандартизация хирургических методов стала ответом на высокую послеоперационную смертность от инфекций. Немецкий хирург Эрнст фон Бергманн внедрил антисептическую обработку ран в полевых условиях, заявив, что стерильность должна стать догмой полевой хирургии. Широкое применение эфирного и хлороформного наркоза с 1840-х годов позволило выполнять сложные операции непосредственно у линии фронта. Эти инновации привели к созданию мобильных хирургических отрядов и прообраза современных полевых госпиталей.

Мировые войны XX века стали катализатором интеграции хирургических инноваций в тактическую медицину. Внедрение антисептических методов, ранней хирургической обработки ран и системы этапного лечения позволило снизить смертность от сепсиса на 40%.

Анализ боевых потерь в мировых конфликтах привёл к пересмотру протоколов эвакуации и лечения. Внедрение стандартизированных процедур сортировки по системе ТРИАЖ и создание мобильных медицинских бригад повысило эффективность помощи в полевых условиях.

Операции НАТО и коалиционных сил после 2001 года инициировали фундаментальный пересмотр принципов тактической медицины. Основной акцент сместился на агрессивные методы догоспитальной помощи, включая немедленную остановку кровотечений и коррекцию дыхательных нарушений непосредственно в зоне боевых действий.

Современные боевые действия всё чаще происходят в урбанизированных зонах, где плотная застройка и разрушенная инфраструктура затрудняют обнаружение и эвакуацию раненых. Узкие улицы, высотные здания и завалы ограничивают видимость и блокируют маршруты, а угрозы снайперского огня и минно-взрывных устройств снижают мобильность медподразделений. Это требует адаптации протоколов эвакуации под особенности городской среды.

Гибридные угрозы усиливают вызовы для медицинского обеспечения: кибератаки нарушают работу электронных карт пациентов и логистических систем, вызывая задержки в помощи, а дезинформационные кампании подрывают доверие к медперсоналу и учреждениям. Для противодействия этим рискам необходимы комплексные протоколы кибербезопасности и информационной защиты.

Современные протоколы тактической помощи раненым (ТССС) демонстрируют ограниченную адаптивность при внезапных изменениях тактической обстановки. В условиях высокоманевренных боевых действий в урбанизированных зонах отмечается критическая зависимость эффективности медицинской помощи от скорости передислокации пунктов оказания помощи. Жёсткие алгоритмы ТССС зачастую не учитывают необходимость экстренного изменения дислокации медицинских подразделений под воздействием противника. Это приводит к снижению доступности первичной помощи в наиболее ответственные временные промежутки после ранения.

Критической проблемой современных медицинских протоколов остаётся отсутствие стандартизированных алгоритмов передачи информации между мобильными медицинскими группами. В условиях асимметричных боевых действий разрозненные системы коммуникации различных подразделений создают задержки в передаче данных о состоянии раненых. Неунифицированные форматы

отчётности затрудняют оперативную оценку тяжести повреждений при последовательной эвакуации через несколько этапов. Указанные системные недостатки напрямую влияют на своевременность оказания квалифицированной медицинской помощи.

Современные конфликты требуют ускоренного внедрения инновационных методов гемостаза для снижения летальности от кровопотери. Применение современных турникетов последнего поколения и наногемостатических средств позволяет сократить время остановки кровотечения до 2-3 минут. Исследования показывают, что использование гемостатических повязок с хитозаном повышает выживаемость при тяжёлых травмах конечностей на 37%. Эти разработки существенно снижают риски фатальной кровопотери на догоспитальном этапе.

Современные подходы к логистике эвакуации раненых предполагают оптимизацию транспортных маршрутов с учётом оперативной обстановки. Использование бронированных медицинских машин и вертолётов санавиации сокращает время доставки пострадавших, а цифровые системы навигации и мониторинга позволяют динамически корректировать маршруты, минимизируя интервал между ранением и оказанием помощи.

Модульные протоколы оказания помощи обеспечивают гибкость медицинского реагирования в зависимости от типа боевых действий и характера поражений. Их адаптивная структура позволяет быстро перенастраивать процедуры при изменении обстановки, оптимизируя ресурсы и ускоряя принятие решений.

Стандартизация взаимодействия военных, гражданских и гуманитарных структур обеспечивает непрерывность эвакуационной цепочки. Единые протоколы связи, документации, классификаторы состояний и цифровое отслеживание пациентов устраняют дублирование и повышают эффективность медицинского обеспечения при комбинированных угрозах.

Современная военно-тактическая медицина требует сочетания агрессивной стабилизации на передовой с оперативной эвакуацией. Эволюция протоколов после 2001 года, особенно в условиях урбанизированных зон и асимметричных угроз, выявила разрыв между устоявшимися подходами и реальностью:

затяжные бои в городах вызывают задержки в помощи и рост предотвратимой смертности. Это требует пересмотра принципов сортировки и эвакуации, а также адаптации доктрин к новым вызовам.

Реформа военно-тактической медицины важна как гуманитарно, так и стратегически. Внедрение evidence-based подходов и междисциплинарная интеграция повышают боеготовность, а инвестиции в обучение и технологии становятся приоритетом оборонной политики.

Практическая реализация выводов включает пересмотр доктрин для сокращения времени оказания помощи, внедрение современных методов гемостаза и телемедицины. Мобильная хирургия и беспилотная эвакуация требуют масштабирования, а подготовка медперсонала и оперативный сбор данных обеспечивают адаптивность протоколов, что повысит выживаемость и устойчивость медобеспечения.

Литература

1. Бызов А.В. Основные особенности медицинской эвакуации железнодорожным транспортом раненных в современном вооруженном конфликте // Медицина катастроф. – 2024. – № 1. – С. 66-69.
2. Долинин В.А., Бисенков Н.П. Операции при ранениях и травмах. – СПб: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2005. – 192 с.
3. Касимов Р.Р., Хежев М.А., Самохвалов И.М. и др. Влияние характера боевых действий на структуру санитарных потерь и организацию хирургической помощи раненым // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2025. – № 4. – С. 517-526.
4. Колесников А.Н., Слепушкин В.Д., Плиев А.М. и др. Экспертная система

догоспитального триажа «DARTS» – отечественная, авторская программа – приложение для мобильных устройств // Военная и тактическая медицина, медицина неотложных состояний. – 2021. – № 2. – С. 6-10.

5. Мирошниченко Ю.В., Самохвалов И.М., Ивченко Е.В. и др. Сравнительная характеристика отечественных и зарубежных средств оказания первой помощи на поле боя и в очаге чрезвычайной ситуации // Медицина экстремальных ситуаций. – 2016. – № 9. – С. 18-22.

6. Селиверстов П.А., Шапкин Ю.Г. Применение тактики контроля повреждений при боевых травмах конечностей на передовых этапах медицинской эвакуации в условиях современных войн (обзор литературы) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2023. – № 1. – С. 42-52.

7. Федоров К.А. Тактическая медицина – от простого к сложному // Материалы конференции. – Минск, 2022. – С. 120-121.

8. Шелепов А.М., Вислов А.В., Каниболоцкий М.Н. и др. Перспективы использования авиационного транспорта для эвакуации раненных и больных в вооруженных силах российской федерации // Вестник российской военно-медицинской академии. – 2013. – № 2. – С. 158-162.

9. Шелепов А.М., Мироненко А.Н., Игохин А.Б. и др. Состояние и перспективы развития медицинской службы войскового звена // Вестник российской военно-медицинской академии. – 2012. – № 40. – С. 237-241.

10. Шнитко С.Н. Актуальные проблемы военной медицины // Актуальные вопросы военной медицины. – Минск, 2025. – С. 144-148.

FOMIN Egor Alekseevich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Oryol

*Scientific Advisor – Employee of the Academy of the Federal Protective Service of Russia
Bulgakov Alexey Alexandrovich*

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF TACTICAL MEDICINE IN MODERN MILITARY CONFLICTS

Abstract. *The article discusses infectious complications of combat wounds, which should be considered extremely contaminated and potentially infected due to non-sterile conditions, the presence of foreign bodies (shrapnel, dirt, and clothing fabric), and delayed evacuation. The article describes the clinical signs of local and systemic infection, including the classic symptoms of inflammation (dolor, rubor, calor, and tumor) and the specific manifestations of necrotizing infections such as gas gangrene and necrotizing fasciitis. The main pathogens are listed – gram-positive and gram-negative bacteria, anaerobes and fungi – taking into account the terms of hospitalization and risk factors. The need for urgent surgical intervention (debridement, drainage) as a key element of wound infection prevention and treatment is emphasized.*

Keywords: *combat wounds, wound infection, evacuation of the wounded, systemic manifestations of infection.*

ШЕПТАЛОВ Дмитрий Денисович

сотрудник, Академии ФСО России, Россия, г. Орел

ДЕРЕВЯНКО Петр Сергеевич

сотрудник, Академии ФСО России, Россия, г. Орел

*Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России,
кандидат технических наук Егоров Игорь Юрьевич*

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОТИВОБОРСТВО В СИСТЕМАХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ И РАЗВЕДКИ

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к моделированию систем связи специального назначения (СС СН) в условиях информационного противоборства. На основе работ С. И. Макаренко рассматриваются описательные модели средств дестабилизирующего воздействия и разведки, а также формальные модели информационного конфликта (концептуальные, динамические, топологические и игровые). Особое внимание уделяется учету тенденций развития СС СН.

Ключевые слова: система связи специального назначения, информационное противоборство, дестабилизирующие воздействия, техническая разведка, информационный конфликт, устойчивость сети, моделирование.

В статье предложена систематизация моделей деструктивных воздействий по трем независимым признакам: объект воздействия (физическое оборудование, радиоканал, сетевые и прикладные протоколы, операционный персонал), метод реализации (физическое повреждение, подавление/джемминг, подделка/спуфинг, эксплуатация уязвимостей ПО и протоколов, внедрение вредоносного ПО, социальная инженерия) и целевой эффект (нарушение доступности, целостности, конфиденциальности, нарушение управления). Такой многомерный подход позволяет описывать как чистые сценарии атак, ориентированные на один признак, так и сложные гибридные воздействия, объединяющие несколько методов и объектов поражения. Классификация предусматривает перекрестные категории для описания комбинированных угроз и вводит критерии ранжирования, включающие вероятность реализации и оценку потенциального ущерба для принятия приоритетных мер защиты. Приведённая схема служит основой для последующего анализа механизмов реализации и ограничений моделей, а также для разработки

критериев выбора контрмер в практических операционных сценариях СС СН.

Механизмы реализации ключевых типов атак включают физическое выведение из строя и саботаж оборудования, радиочастотные методы – широкополосный и интеллектуальный джемминг, ретрансляцию и подавление сигнала, подделку идентификаторов и спуфинг для перехвата управления, эксплуатацию уязвимостей протоколов и стеков, внедрение целевого вредоносного ПО и компрометацию цепочки поставок, а также операции человеческого фактора – инсайдерские действия и социальную инженерию. Типовые последовательности действий обычно содержат разведку и сбор целевых данных, создание или привлечение необходимых технических средств, установление доступа и эксплуатацию уязвимостей с обеспечением устойчивости действия и выхода, при этом требования к ресурсам варьируются от специальных радиочастотных передатчиков и энергетических запасов до доступа к логистическим цепочкам и квалифицированным операторам. Для радиочастотных атак требуются спектральные возможности и точная синхронизация, для атак на протоколы –

анализ стека и инструменты модификации трафика, а компрометация цепочек поставок требует инфраструктурных и временных ресурсов. В качестве примера, «Например, для проверки защищенности своих компьютеров Пентагон набирал и собрал команду из хакеров со всего мира и «развязал им руки». Результат их работы показал, что они взломали защиту у 88% из 8900 компьютеров военного ведомства «Пентагон» и только 4% атак были замечены [1, с. 29].

Эффективность моделей воздействий ограничивается физическими и средовыми факторами, такими как расстояние, затухание и экранирование, а также топологическими особенностями сети, которые могут предотвращать распространение эффекта атаки. Ограничения со стороны энергетики и аппаратных возможностей атакующего, потребность в разведанных и точной синхронизации, а также высокая вероятность обнаружения системами мониторинга и реагирования существенно снижают практическую результативность многих векторов. Временные и логистические барьеры вместе с юридическими и нормативными ограничениями создают дополнительные препятствия для масштабирования и длительного поддержания операций. В совокупности эти факторы влияют на выбор вектора атаки, определяют масштабируемость вмешательства и формируют ожидания по результативности в различных операционных сценариях.

Сбор разведывательных данных в системах связи специального назначения осуществляется комплексом методов, включающим радиотехническую разведку (SIGINT/ELINT), перехват и анализ телекоммуникационных потоков, оптические и инфракрасные средства наблюдения, а также датчики радиочастотной и сетевой телеметрии. Техническая реализация этих методов основана на специализированном оборудовании, способном осуществлять пассивное и активное зондирование каналов связи без нарушения их работоспособности. Последовательность обработки полученных данных начинается с этапа предобработки, включающего фильтрацию шумов и подавление преднамеренных помех, что обеспечивает выделение полезного сигнала из общего фона. На последующих стадиях выполняется корреляция данных из разнородных источников,

извлечение семантических признаков и структурных закономерностей, после чего информация агрегируется в форматы, пригодные для долгосрочного хранения и анализа.

Модели разведывательной деятельности структурируются по фазам обнаружения, идентификации, трассировки и сбора информации. Математические подходы включают формализацию этих этапов через вероятностные модели поведения и марковские цепи, описывающие последовательность действий разведки. Расчёт показателей эффективности охватывает точность распознавания целей, полноту собранных данных и временные задержки обработки. Оценка информационной ёмкости каналов наблюдения позволяет прогнозировать вероятность получения критических сведений о системах связи специального назначения.

Интеграция разведывательных моделей в оперативные стратегии предполагает фьюзинг данных из многоканальных источников для повышения достоверности. Критерии оценки ценности целей и сопутствующих рисков формируют основу для принятия решений в условиях неполной информации. Механизмы обратной связи обеспечивают адаптивность разведки к изменяющимся условиям противоборства. Параллельно применяются контрмеры: сокрытие критической информации и целенаправленная дезинформация, что повышает устойчивость систем связи специального назначения к разведывательной деятельности противника.

В сопоставительном анализе ключевых моделей воздействий и разведки для систем связи специального назначения рассматриваются помеховые и подавляющие воздействия, манипулятивные информационные операции, а также радиотехническая разведка и пассивный мониторинг. Критерии эффективности включают вероятность нарушения связи или поражения цели, устойчивость канала к воздействиям, степень скрытности и риска обнаружения, а также затраты и скорость восстановления функционирования после атаки. Рассмотрение исторических и современных кейсов показало, что помеховые и подавляющие методы дают быстрый эффект в условиях открытых радиочастотных пространств при наличии энергетических ресурсов, но сопровождаются высокой вероятностью выявления и значительными расходами на восстановление, тогда как

манипулятивные воздействия на информацию могут быть более скрытными и долговременными по эффекту, требуя иной подготовки и целевой аналитики. Радиотехническая разведка и пассивный мониторинг демонстрируют высокую степень скрытности и ценность для выбора времени и способа воздействия, однако их практическая эффективность определяется качеством технической базы и степенью интеграции с активными мерами, что формирует закономерность: применимость конкретной модели определяется тактическими условиями и техническими ограничениями операционной среды.

Рекомендуется выстраивать интегрированную архитектуру на принципах модульности, многоуровневости и избыточности, что обеспечивает гибкость в обновлении компонентов и устойчивость к точечным повреждениям. Необходимо сочетать превентивные разведывательные механизмы с адаптивными контрмерами воздействия, обеспечивая сквозной обмен данными между подсистемами обнаружения и реагирования. К техническим мерам следует отнести резервирование и диверсификацию физических и частотных каналов, внедрение адаптивного управления спектром и усиление физической и криптографической защиты на уровнях доступа и передачи. Организационные меры включают формализацию процедур обмена разведанными, регулярное обучение и учения персонала, верификацию контрмер и поэтапный план внедрения с критериями оценки эффективности, такими как показатели живучести, скорость обнаружения и время восстановления.

Исследование обосновало динамический подход к моделированию информационного противоборства в СС СН, учитывающий циклическую смену стратегий разведки, атаки и защиты, в отличие от статических моделей. Выявлена операциональная взаимосвязь разведки и атак: эффективность воздействия зависит от качества сбора данных, что требует комплексного подхода к защите. Интеграция моделей в единый аналитический контур позволяет прогнозировать угрозы и повышать устойчивость систем связи. Актуальность методики обусловлена ростом информационных конфликтов в условиях цифровой трансформации.

Литература

1. Актаева А.У., Илипбаева Л.Б. К вопросу разработки математической модели информационной войны // *International journal of open information technologies*. – 2014. – № 11. – С. 29-33.
2. Антонович П.И., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. и др. Перспективные способы деструктивного воздействия на системы военного управления в едином информационном пространстве // *Вестник академии военных наук*. – 2014. – № 3. – С. 93-97.
3. Баранов В.В., Коцыняк М.А., Лаута О.С. и др. Методика оценки устойчивости информационно-телекоммуникационной сети в условиях информационного воздействия // *Вестник волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность*. – 2017. – № 2. – С. 11-15.
4. Бокова О.И., Канавин С.В., Хохлов Н.С. Оценка возможного ущерба и времени реакции комплекса средств противодействия на реализацию угроз информационной безопасности сети связи специального назначения // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. – 2020. – № 4. – С. 1-12.
5. Гречишников Е.В., Горелик С.П., Добрышин М.М. Способ обеспечения требуемой защищённости сети связи от внешних деструктивных воздействий // *Телекоммуникации*. – 2015. – № 6. – С. 30-37.
6. Коберниченко В.Г. Информационно-телекоммуникационные средства и технологии при подготовке кадров в области информационной безопасности // *Новые образовательные технологии в вузе НОТВ-2010*. – Екатеринбург, 2010. – С. 276-280.
7. Колесников А.А. Модель управления противодействием информационным атакам в киберпространстве // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. – 2024. – С. 134-138.
8. Макаренко С.И., Смирнов Г.Е. Анализ стандартов и методик тестирования на проникновение // *Системы управления, связи и безопасности*. – 2020. – № 4. – С. 44-72.
9. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки. – Санкт-Петербург: Научно-технические технологии, 2020. – 337 с.

10. Михайлов Р.Л. Новый базовый подход и методика оценивания информационного превосходства в информационном конфликте // Инфокоммуникационные технологии. – 2021. – № 1. – С. 7-20.

11. Московченко В.М., Гудков М.А., Лавута О.С. Робототехническая система анализа кибербезопасности информационных систем и сетей связи // НБИ технологии. – 2018. – № 2. – С. 30-34.

12. Раскин А.В., Тарасов И.В. Информационное противоборство в современной войне // Информационные войны. – 2014. – № 4. – С. 2-6.

13. Раскин А.В., Тарасов И.В. «Сетецентризм» как информационно-управляющая технология высокотехнологичной войны // Информационные войны. – 2014. – № 3. – С. 2-5.

SHEPTALOV Dmitry Denisovich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

DEREVYANKO Petr Sergeevich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

*Scientific Advisor – Employee of the Academy of the Federal Protective Service of Russia,
Candidate of Technical Sciences Egorov Igor Yurievich*

INFORMATION WARFARE IN SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION SYSTEMS: A REVIEW OF IMPACT AND INTELLIGENCE MODELS

Abstract. *This article presents an overview of modern approaches to modeling special-purpose communications systems (SPCS) in information warfare environments. Based on the work of S. I. Makarenko, descriptive models of destabilizing and reconnaissance assets, as well as formal models of information conflict (conceptual, dynamic, topological, and game-based), are considered. Particular attention is given to the development trends of SPCS.*

Keywords: *special-purpose communications system, information warfare, destabilizing effects, technical reconnaissance, information conflict, network stability, modeling.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

БАИМАТАЕВА Sholpan Muratkyzy

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Institute of Automation and Information Technology, Kazakhstan, Almaty

ADVANCES IN CLOUD-NATIVE CYBER DEFENSE: INTRUSION RECOGNITION AND SELF-HEALING ARCHITECTURES UNDER MODERN ATTACK VECTORS

Abstract. *Cloud-native infrastructure has restructured the security problem in ways that existing detection frameworks were not designed to address. The distribution of application logic across ephemeral, dynamically scheduled microservices eliminates the stable network perimeters on which signature-based and rule-driven detection approaches depend, while the programmability of cloud infrastructure creates both new attack vectors and new possibilities for automated defense. This article analyzes the detection and response architectures that have emerged in response to these conditions, with particular attention to behavioral anomaly detection in containerized environments, the design of self-healing response pipelines that exploit cloud infrastructure APIs, and the adversarial threats directed at the detection layer itself. The analysis finds that the most significant barriers to effective cloud-native defense are architectural fragmentation between detection and response tooling, the absence of governance frameworks for automated response accountability, and the systematic targeting of detection systems as attack objects in their own right.*

Keywords: *cloud-native security, intrusion detection, self-healing architecture, anomaly detection, adversarial ML, SOAR, Kubernetes, microservices, behavioral analytics, zero trust.*

Introduction

The security implications of cloud-native infrastructure are most clearly understood by examining how the architectural properties of the environment alter the fundamental conditions under which detection and response must operate. In a conventional data center, the network perimeter is relatively stable, workload identity is tied to physical or virtual machines with persistent IP addresses, and the traffic profile of a given system changes slowly enough that historical baselines remain useful for extended periods. A Kubernetes cluster may reschedule hundreds of pods within a single hour in response to load. A service mesh reconfigures its routing topology with each deployment. An infrastructure-as-code change applied through a CI/CD pipeline may alter the communication structure of an entire application in minutes. The security model that treats the network as a defensible boundary and anomaly detection as a comparison against a stable historical baseline is structurally inapplicable in this environment [3; 6, p. 1802-1831].

This structural inapplicability has practical consequences documented in the incident record. Lateral movement campaigns that would surface as anomalous east-west traffic in a conventional architecture are difficult to distinguish from legitimate inter-service communication in microservice environments, where high-frequency, low-volume connections between services are the norm. Supply chain attacks targeting container images and dependency packages bypass perimeter controls entirely by entering through the deployment pipeline. The ephemerality of containerized workloads means that forensic artifacts may be destroyed before investigation begins, through ordinary scheduler behavior [8].

Methods

The analysis draws on the academic literature published between 2009 and 2025, prioritizing works that address the specific operational characteristics of cloud-native environments. A substantial portion of the literature on machine learning for intrusion detection was developed against conventional network datasets and does not directly address the architectural properties – dynamic

workload scheduling, service mesh telemetry, container runtime behavior – that define the cloud-native detection problem. This distinction informed source selection throughout.

Empirical grounding was applied as a secondary selection criterion. The UNSW-NB15 benchmark dataset, whose construction methodology and traffic composition are documented by Moustafa and Slay (2015), provides a reference standard for cross-study performance comparison, though its representativeness of cloud-native traffic is limited by the conventional network environment in which it was generated. Where available, results from cloud-specific evaluation contexts are preferred.

The analysis is structured around three dimensions that cannot be evaluated independently: detection, response, and the adversarial context that shapes the requirements for both. A detection architecture that performs well against static benchmark attacks may fail against adversarially crafted evasion; a response architecture that operates correctly in isolation may produce cascading failures when applied at microservice granularity without dependency awareness. The methodological commitment to evaluating these dimensions jointly follows from this interdependence [1].

Results

The fundamental challenge of behavioral detection in cloud-native environments is that the behavioral baseline is not stationary. Elastic scaling, rolling deployments, blue-green releases, and canary traffic splitting all produce legitimate changes in traffic distribution that a detection system operating on historical baselines will misclassify as anomalies unless it can distinguish operational reconfiguration from adversarial behavior. In production Kubernetes environments operating under continuous delivery practices, the traffic distribution may shift measurably dozens of times per day. A detection system that cannot tolerate this variability will generate alert volumes that overwhelm analyst capacity, or require sensitivity thresholds so conservative that genuine attacks pass undetected [13, p. 305-316].

Unsupervised and semi-supervised approaches handle non-stationary baselines more effectively than supervised classifiers trained on fixed labeled datasets, and their relevance in cloud-native contexts is further reinforced by the practical difficulty of constructing comprehensive labeled training sets across the full diversity of microservice

workload types. Feature engineering decisions are consequential here: raw packet data is computationally intractable at cloud scale, and highly aggregated flow statistics sacrifice the temporal and relational information that may be essential for distinguishing specific attack classes [5, p. 1-58]. Autoencoders applied to normalized IP-flow telemetry have demonstrated competitive anomaly detection performance on established benchmarks, and their cross-environment portability improves when threshold calibration is treated as a deployment-stage operation rather than a training-stage one [1; 11, p. 1413-1428].

The relational structure of microservice communication offers a complementary detection surface. GNN-based detection models operate on representations of the service communication graph, learning the structural properties of normal inter-service interaction and identifying deviations invisible at the per-connection level [4, p. 49114-49139]. Distributed Denial of Service attacks, lateral movement campaigns, and certain classes of data exfiltration produce characteristic topological signatures in the service graph even when per-connection statistics of the attack traffic remain within normal bounds [1]. Documents hybrid detection architectures in which flow-level sequential models and graph-structural models operate in ensemble, on the basis that these two signal types carry largely non-overlapping information about ongoing attacks. Service mesh telemetry, which exposes the inter-service communication graph as a first-class data structure, accordingly represents a detection data source of substantially higher value than its current utilization in most production deployments would suggest.

Automated attacks operate at millisecond timescales; human-mediated incident response operates at minute or hour timescales. In environments where a container escape can propagate laterally across a Kubernetes node in seconds, a response architecture that requires a human analyst to review a SIEM alert, consult a runbook, and manually execute containment actions is not a meaningful defense against capable adversaries operating with any degree of automation. This asymmetry is more acute in cloud-native environments than in conventional ones, because the attack surface is larger, more dynamic, and more interconnected.

The cloud-native infrastructure stack provides the technical prerequisites for automated response

at a level of granularity unavailable in conventional architectures. Kubernetes network policies can be updated programmatically to isolate a compromised pod from the rest of the cluster within seconds of detection. A CI/CD pipeline can be paused automatically when artifact integrity verification fails. Workload identities can be revoked and rotated through the cloud provider's IAM APIs without human intervention [1]. Examines the integration layer connecting detection signals to these response primitives, arguing that the conventional separation of security monitoring and infrastructure operations tooling is an organizational artifact that actively impedes the response latency improvements the infrastructure stack would otherwise make possible. The detection-to-response pipeline he proposes operates through direct infrastructure API calls, reducing the response interval from the minute-scale of conventional workflows to the second-scale achievable through native orchestration interfaces [1].

Precision in automated response is as consequential as speed. In a microservice architecture where a single user-facing request traverses eight or ten internal services, the blast radius of an isolation action is determined by the service dependency graph. A response system without a continuously updated dependency model will systematically mis-scope containment boundaries, producing service disruptions that amplify the operational impact of the original incident. Dependency-aware containment, in which the response system maintains a live model of the service call graph and uses it to scope isolation actions, is a technically demanding requirement whose absence constitutes a design flaw with direct operational consequences.

Graduated response strategies address the false-positive risk by staging containment actions from least to most disruptive: enhanced logging and traffic mirroring precede workload isolation, which precedes termination [9, p. 1293-1305]. The practical limitation of staged response is that the staging interval, however brief, may be sufficient for a fast-moving attack to complete its objectives; the appropriate staging configuration therefore depends on the specific threat model of the deployment.

Supply chain attacks against the software delivery pipeline are structurally the most difficult category of cloud-native threat to address through detection-layer controls. A compromised base

container image, a malicious package introduced through a dependency registry, or a tampered infrastructure-as-code template will pass through standard deployment gates unless those gates include explicit artifact integrity verification at each stage. Network-layer detection systems have no visibility into this attack surface; defense requires integrity controls applied within the build and distribution pipeline itself, at stages that most current security architectures treat as outside their scope.

Container escape exploits occur after initial access has been achieved within a container, representing an attempt to break out of the namespace isolation boundary to gain access to the host kernel and co-located workloads. The detection challenge is that container escape attempts manifest primarily as anomalous system call patterns at the kernel level, a visibility plane below that of network-based detection systems. eBPF-based syscall monitoring provides the required kernel-level visibility, and its integration with the broader detection and response infrastructure of a cloud-native security architecture remains an implementation problem that many organizations have not yet resolved [3].

The adversarial targeting of machine learning-based detection systems has grown in practical significance in proportion to the adoption of ML-based anomaly detection in production environments [2]. Develops a structured taxonomy of attacks on AI cybersecurity systems, distinguishing training-time compromise, in which an adversary manipulates the data on which the detection model is trained to degrade its learned representations, from inference-time evasion, in which crafted inputs are constructed to be misclassified as benign while preserving attack functionality. In cloud-native environments that retrain detection models continuously on streaming telemetry, the training-time attack surface is particularly significant: an adversary with the ability to inject crafted traffic into the training stream can systematically degrade detection accuracy over time without generating any anomaly signal that would reveal the attack. The integrity of the data pipeline feeding model training is therefore a security requirement of the same order as the integrity of the detection system itself.

Credential-based compromise of cloud identity and access management systems accounts for a disproportionate share of documented cloud

incidents relative to its technical sophistication. The density of service accounts, API tokens, and short-lived credentials in microservice architectures creates a large, poorly audited credential surface, and the automated scanning of public code repositories for inadvertently committed credentials is a sufficiently low-effort technique that it is routinely employed even by unsophisticated adversaries [3, 12].

Discussion

The central finding of this review is an asymmetry between technical and operational maturity. The detection methods and response automation capabilities required for effective cloud-native cyber defense are available and have been validated against recognized benchmarks. Hybrid ensemble detectors combining GNN-based graph analysis with flow-level sequential models achieve detection performance on benchmark datasets sufficient for production deployment. Self-healing response architectures capable of sub-second automated containment are technically feasible given the API programmability of cloud infrastructure platforms. The gap between this technical capability and the security posture of most production deployments is real and substantial, and its origins lie in implementation and governance constraints rather than in research deficits [7, p. 20].

On the technical side, the fragmentation between security monitoring tooling and infrastructure operations tooling means that detection signals do not reach the response layer with the fidelity or speed required for automated action. SIEM platforms receive aggregated, normalized log data adequate for compliance reporting and retrospective investigation but lacking the workload-level granularity required to trigger precise automated containment. Closing this gap requires integrating detection directly with the container runtime, service mesh, and orchestration layers, an architectural change that touches both security and infrastructure operations domains simultaneously.

The organizational dimension is less tractable. Security operations and site reliability engineering have historically been separate disciplines with distinct tooling, processes, and reporting structures. Cloud-native infrastructure does not accommodate this separation: effective security operations in a Kubernetes environment require the same deep understanding of orchestration mechanics that SRE teams develop through operational experience, while effective infrastructure

management requires treating security events as a first-class operational concern. Bridging this requires deliberate organizational design – shared on-call responsibilities, joint incident response processes, and performance metrics that reward security outcomes alongside availability and deployment velocity.

The expansion of the IoT and IIoT perimeter into cloud-native middleware layers adds heterogeneity to the detection problem that current architectures handle poorly. Industrial devices communicating through cloud-native message brokers introduce traffic profiles that differ fundamentally from enterprise IT communication patterns, and detection models calibrated on the latter exhibit degraded performance in hybrid IT/OT environments [3]. The development of detection approaches that generalize across these traffic types without requiring separate model training for each device class is an open problem with direct practical significance for the growing number of deployments spanning both domains.

Automated response at the speed enabled by direct infrastructure API integration is operationally valuable, and it creates accountability structures that differ qualitatively from human-mediated response. When an automated containment action incorrectly isolates a production workload and causes a service outage, the chain of responsibility traverses the detection algorithm, the response playbook, the configuration parameters, and the engineers who deployed and maintained each component. Regulatory frameworks for critical infrastructure in most jurisdictions have not established clear standards for how this accountability should be distributed [12], and this legal ambiguity will continue to constrain deployment decisions in high-stakes environments until addressed directly.

Conclusion

The productive frontier of cloud-native cyber defense research has shifted. The field has established that hybrid ensemble architectures combining graph-structural and sequential behavioral analysis can achieve detection performance sufficient for production deployment, and that the response automation enabled by cloud infrastructure APIs is technically capable of operating at timescales that match modern attack automation. The questions that now determine whether this technical capability translates into operational security improvement concern architectural

integration, adversarial robustness of the detection pipeline, dependency-aware response scoping, and the governance frameworks that make automated containment viable in regulated environments. Progress on these dimensions requires the intersection of systems engineering, organizational design, and policy development, a broader agenda than detection architecture research alone can address.

References

1. Avkhadiev D.I. (2025a). Artificial intelligence and cybersecurity: Threats and countermeasures. Lambert Academic Publishing. ISBN 978-620-8-47064-7.
2. Avkhadiev D.I. (2025b). Threat model for AI systems in cyberspace: Challenges of 2025. Scientific Review. Fundamental and Applied Research, 3.
3. Avkhadiev D.I. (2025c). Cyber defense for a new era. Lambert Academic Publishing. ISBN 978-620-8-45641-2.
4. Bilot T., El Madhoun N., Al Agha K., Zouaoui A. (2023). Graph neural networks for intrusion detection: A survey. IEEE Access, No. 11, P. 49114-49139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3275789>.
5. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys, No. 41(3), P. 1-58. <https://doi.org/10.1145/1541880.1541882>.
6. Humayed A., Lin J., Li F., Luo B. (2017). Cyber-physical systems security: A survey. IEEE Internet of Things Journal, No. 4(6), P. 1802-1831. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2703172>.
7. Khraisat A., Gondal I., Vamplew P., Kamruzzaman J. (2019). Survey of intrusion detection systems: Techniques, datasets and challenges. Cybersecurity, No. 2(1), P. 20. <https://doi.org/10.1186/s42400-019-0038-7>.
8. Lee R.M., Assante M.J., Conway T. (2016). Analysis of the cyber attack on the Ukrainian power grid. SANS ICS and E-ISAC.
9. Marino D.L., Wickramasinghe C.S., Manic M. (2022). An adversarial approach for explainable AI in intrusion detection systems. IEEE Transactions on Network and Service Management, No. 19(2), P. 1293-1305. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2022.3147028>.
10. Moustafa N., Slay J. (2015). UNSW-NB15: A comprehensive dataset for network intrusion detection systems. Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MilCIS.2015.7348942>.
11. Nguyen T.D., Marchal S., Miettinen M., Fereidooni H., Asokan N., Sadeghi A.-R. (2021). DIoT: A federated self-learning anomaly detection system for IoT. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, No. 16, P. 1413-1428. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2020.3017054>.
12. Rose S., Borchert O., Mitchell S., Connelly S. (2020). Zero trust architecture (NIST Special Publication 800-207). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>.
13. Sommer R., Paxson V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. IEEE Symposium on Security and Privacy, P. 305-316. <https://doi.org/10.1109/SP.2010.25>.

БАЙМАТАЕВА Шолпан Мураткызы

кандидат технических наук, ассоциированный профессор,
Институт автоматизации и информационных технологий, Казахстан, г. Алматы

ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОБЛАЧНОЙ КИБЕРЗАЩИТЫ: РАСПОЗНАВАНИЕ ВТОРЖЕНИЙ И САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ АРХИТЕКТУРЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВЕКТОРОВ АТАК

***Аннотация.** Облачно-ориентированная инфраструктура изменила характер проблемы безопасности таким образом, что существующие фреймворки обнаружения угроз не были рассчитаны на решение возникающих задач. Распределение логики приложений между эфемерными, динамически планируемыми микросервисами устраняет стабильные сетевые периметры, на которых основаны сигнатурные и правило-ориентированные подходы к обнаружению, тогда как программируемость облачной инфраструктуры одновременно порождает новые векторы атак и открывает новые возможности для автоматизированной защиты. В данной статье анализируются архитектуры обнаружения угроз и реагирования на них, сложившиеся в ответ на эти условия, с особым вниманием к поведенческому обнаружению аномалий в контейнеризированных средах, проектированию самовосстанавливающихся конвейеров реагирования, использующих API облачной инфраструктуры, а также к состязательным угрозам, направленным непосредственно против уровня обнаружения. Проведённый анализ показывает, что наиболее значимыми барьерами для эффективной защиты облачно-ориентированных сред являются архитектурная фрагментация между инструментами обнаружения и реагирования, отсутствие механизмов управления ответственностью за автоматизированные ответные действия, а также систематическое использование самих систем обнаружения в качестве объектов атак.*

***Ключевые слова:** безопасность облачно-ориентированных сред, обнаружение вторжений, самовосстанавливающаяся архитектура, обнаружение аномалий, состязательное машинное обучение, SOAR, Kubernetes, микросервисы, поведенческая аналитика, нулевое доверие.*

АБИЛДА Жунис

индивидуальный предприниматель, эксперт в сфере ИТ, автоматизации и роботизации,
Казахстан, г. Шымкент

РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ЦЕПОЧКЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМ

Аннотация. Рассматривается роль человеческого фактора в процессах цифровой трансформации организации через призму теоретического анализа сопротивления изменениям. Я исхожу из того, что успешность цифровой трансформации определяется не только уровнем технологической зрелости предприятия, качеством информационной инфраструктуры и объемом инвестиций, но и способностью персонала воспринимать, интерпретировать и принимать организационные изменения. Особое внимание уделяется анализу причин сопротивления, возникающих на индивидуальном, групповом и организационном уровнях, включая страх неопределенности, утрату привычных моделей профессионального поведения, снижение чувства контроля, дефицит цифровых компетенций и конфликт между формальными целями трансформации и внутренними установками сотрудников. В работе обосновывается необходимость построения теоретической модели сопротивления изменениям как элемента общей цепочки цифровой трансформации, позволяющей выявить взаимосвязь между управленческими решениями, культурой организации, коммуникационными механизмами и реакцией персонала на внедрение цифровых решений. Делается вывод о том, что человеческий фактор выступает не внешним ограничением, а внутренним системообразующим элементом цифровой трансформации, а потому управление сопротивлением должно рассматриваться как стратегическое условие повышения эффективности преобразований.

Ключевые слова: человеческий фактор, цифровая трансформация, сопротивление изменениям, организационные изменения, цифровые компетенции, корпоративная культура, управление персоналом, адаптация сотрудников, организационное поведение, управление трансформацией.

Роль человеческого фактора в цепочке цифровой трансформации организации через построение теоретической модели сопротивления изменениям как системного феномена, возникающего на стыке технологических, управленческих, психологических и культурных процессов. Цифровая трансформация в современном научном и прикладном дискурсе все чаще трактуется не как частная автоматизация отдельных функций и не как локальное внедрение новых программных решений, а как глубокое преобразование организационной среды, затрагивающее архитектуру бизнес-процессов, логику управленческих решений, способы коммуникации, формы координации, критерии эффективности и характер профессионального поведения сотрудников. Однако в практике управления цифровыми преобразованиями по-прежнему сохраняется опасная редукция, при которой основное внимание концентрируется на технологии, инфраструктуре, программных продуктах, данных и

инвестициях, тогда как человеческий фактор рассматривается как вторичный элемент, связанный лишь с обучением персонала или преодолением временных трудностей адаптации. Подобный подход представляется методологически ограниченным, поскольку игнорирует принципиальное обстоятельство: любая цифровая система приобретает организационный смысл только в том случае, если она включается в реальные практики деятельности, принимается участниками процесса и становится частью воспроизводимой рабочей логики. Следовательно, цифровая трансформация не совершается технологией как таковой; она осуществляется внутри социальной системы, в которой сотрудники интерпретируют, оценивают, принимают, искажают или блокируют изменения в зависимости от собственных профессиональных установок, групповых норм, уровня доверия к руководству, степени цифровой готовности и восприятия справедливости управленческого воздействия.

Проведенный анализ показывает, что сопротивление изменениям в контексте цифровой трансформации не следует трактовать как случайное отклонение, эмоциональный сбой или проявление индивидуальной инертности. Напротив, речь идет о закономерной реакции организационной системы на нарушение сложившегося равновесия между привычными режимами работы, профессиональной идентичностью сотрудников, распределением власти, уровнем контроля над трудовой ситуацией и новыми требованиями цифровой среды. Сопротивление формируется там, где технологическое нововведение воспринимается не как инструмент развития, а как источник неопределенности, символ потери прежней компетентности, угроза статусу, дополнительный механизм контроля или фактор перераспределения организационного влияния. Именно по этой причине сопротивление изменениям не может быть сведено к иррациональному отрицанию прогресса. Оно имеет когнитивные основания, социальные механизмы воспроизводства и управленческие предпосылки. В одних случаях оно проявляется как открытое несогласие, критика и отказ принимать новые правила, в других – как скрытая инерция, формальное согласие без реального изменения поведения, имитация использования цифровых инструментов, сохранение параллельных неформальных процедур и латентное воспроизводство прежних моделей работы. Для цифровой трансформации особенно характерна именно скрытая форма сопротивления, поскольку современные организации редко допускают прямой конфликт с официальной стратегией изменений, но при этом часто сталкиваются с тем, что внедренные технологии не становятся подлинной частью повседневной практики.

В теоретическом отношении человеческий фактор в цепочке цифровой трансформации следует рассматривать как совокупность характеристик персонала, определяющих характер взаимодействия организации с технологическим изменением. В эту совокупность включаются когнитивные установки, профессиональные привычки, цифровые компетенции, ценностные ориентации, степень доверия к руководству, готовность к обучению, отношение к неопределенности, опыт участия в прошлых преобразованиях, социальная идентификация

с профессиональной группой и восприятие последствий цифровизации для собственной роли в организации. Такая трактовка позволяет отказаться от примитивного понимания человеческого фактора как простой психологической переменной и увидеть его как сложный системообразующий элемент, соединяющий индивидуальный уровень восприятия с групповой динамикой и институциональной логикой организационного развития. Исследование показывает, что именно в этой точке сходятся ключевые противоречия цифровой трансформации: технологическая рациональность сталкивается с социальной сложностью, управленческое проектирование – с неформальной культурой, а цифровая стратегия – с глубинной логикой профессионального поведения.

Особого внимания заслуживает тот факт, что цифровая трансформация меняет не только инструменты, но и структуру повседневной деятельности. Когда организация внедряет цифровую платформу, автоматизирует документооборот, переводит коммуникации в новые каналы, разворачивает системы аналитики, алгоритмического контроля или интеллектуальной поддержки решений, трансформируется сама среда труда. Изменяется последовательность операций, характер фиксации результатов, степень прозрачности действий, скорость обмена информацией, объем формализованных требований, критерии оценки эффективности, пределы индивидуальной автономии и способы взаимодействия между подразделениями. Для сотрудника это означает не просто необходимость освоить новый интерфейс, а включиться в иное пространство профессионального существования. Там, где прежде ценился опыт ручной координации, неформальных договоренностей и накопленного практического знания, может возникнуть требование работать через стандартизированные цифровые контуры, подчиняться новой логике данных и принимать возросшую наблюдаемость собственной деятельности. Именно здесь возникает глубинное напряжение: цифровая трансформация затрагивает не только функциональную сторону труда, но и субъективное переживание профессиональной значимости. Сотрудник может воспринимать новую систему как фактор, который не просто усложняет работу, а символически снижает ценность того, что ранее составляло основу его экспертности.

В материале подчеркивается, что сопротивление цифровым изменениям имеет многоуровневую природу. На индивидуальном уровне его важнейшими основаниями выступают страх неопределенности, тревога перед снижением собственной компетентности, опасение утраты контроля над рабочей ситуацией, неуверенность в способности освоить новый цифровой контур и ожидание негативных последствий для статуса, нагрузки или стабильности занятости. Любая серьезная трансформация нарушает предсказуемость профессиональной среды, а человек в условиях недостатка информации склонен интерпретировать неопределенность как угрозу. Чем менее прозрачно сформулированы цели преобразований, чем слабее объяснена их логика и чем ниже доверие к управленческой системе, тем выше вероятность того, что даже объективно полезное нововведение будет воспринято как опасность. Особенно остро данный процесс проявляется у сотрудников, чья профессиональная траектория строилась на опыте, интуитивном понимании процессов, знании неформальных механизмов и устойчивых рутин. Для них переход к цифровым решениям может означать не профессиональное усиление, а переживание потери символического капитала, ранее обеспечивавшего признание и влияние внутри организации.

На групповом уровне сопротивление приобретает характер коллективно разделяемой интерпретации изменений. Профессиональные сообщества внутри организации редко реагируют на цифровую трансформацию исключительно как набор автономных индивидов. Гораздо чаще личные опасения, сомнения и наблюдения проходят через фильтр неформального общения, сравнения опыта, обсуждения намерений руководства и совместного конструирования смыслов. В результате складываются устойчивые коллективные рамки восприятия, в которых цифровая трансформация может интерпретироваться как средство тотального контроля, как попытка сократить персонал, как очередной формальный проект руководства, не связанный с реальными потребностями работы, либо как система, навязываемая без учета профессиональной специфики. Эти коллективные интерпретации резко усиливают устойчивость сопротивления, поскольку превращают индивидуальные

сомнения в нормализованную позицию группы. В таком случае сопротивление начинается воспроизводиться через шутки, скепсис, демонстративное подчеркивание недостатков системы, скрытое обучение новичков старым способам работы и воспроизведение двойной организационной реальности, при которой официально признается новый цифровой контур, а фактически продолжают использоваться прежние неформальные процедуры.

На организационном уровне ключевым источником сопротивления становятся особенности самой архитектуры управления изменениями. Анализ показывает, что значительная часть сопротивления формируется не вследствие консерватизма персонала, а в результате управленческих ошибок. К числу таких ошибок относятся непрозрачность целей трансформации, отсутствие убедительного объяснения смысла преобразований, слабая коммуникация между руководством и сотрудниками, игнорирование специфики отдельных подразделений, дефицит обучения, неравномерное распределение нагрузки, разрыв между декларируемыми цифровыми ценностями и фактическим поведением управленцев, а также стремление внедрить новую систему административным давлением без формирования реальной включенности персонала. Когда сотрудники видят, что цифровая трансформация организована как формальный проект «сверху», не учитывающий их опыт, рабочие ограничения и необходимость переходного периода, нововведение воспринимается как внешнее принуждение, а не как совместно осмысленный шаг развития. При этом даже качественное технологическое решение может столкнуться с устойчивым отрицанием, если процесс внедрения воспринимается как несправедливый, непродуманный или циничный по отношению к человеческим издержкам.

Проведенное исследование позволяет предложить теоретическую модель сопротивления изменениям в цепочке цифровой трансформации. В ее основе лежит представление о сопротивлении как о процессе последовательной переработки организационного импульса через несколько взаимосвязанных уровней. Исходной точкой выступает иницирующее воздействие, то есть управленческое решение о внедрении цифрового инструмента, платформы, процедуры или новой логики работы. Далее

формируется когнитивная оценка этого воздействия сотрудниками: они пытаются определить, насколько изменения затрагивают их профессиональные функции, какие выгоды и потери могут возникнуть, насколько понятна логика преобразований и насколько реалистично ожидание успешной адаптации. Затем запускается социальная фильтрация, когда индивидуальная оценка сопоставляется с мнениями коллег, неформальными интерпретациями и реакцией значимых фигур внутри подразделения. После этого складывается поведенческая стратегия, которая может принимать форму активного принятия, адаптивного сотрудничества, избирательного использования, пассивного уклонения, формального согласия, латентного саботажа или открытого противодействия. Наконец, совокупность этих стратегий начинает влиять на фактическую траекторию цифровой трансформации: скорость внедрения, качество использования системы, степень институционализации новых практик, объем неформальных обходных решений и необходимость повторных управленческих вмешательств. Таким образом, сопротивление предстает не единичной реакцией, а динамическим контуром, в котором технологическое решение преобразуется в социальный процесс с обратной связью.

Центральным элементом предложенной модели выступает восприятие справедливости. Исследование показывает, что сотрудники значительно легче принимают сложные и даже болезненные изменения, если считают процедуру их внедрения объяснимой, последовательной и уважительной по отношению к участникам процесса. Процедурная несправедливость, напротив, становится мощным катализатором сопротивления. Если одни сотрудники получают доступ к обучению и поддержке, а другие сталкиваются только с требованиями; если новая система увеличивает нагрузку на одни подразделения и снижает ее для других без понятной компенсации; если критерии оценки эффективности меняются внезапно; если управленческие решения принимаются без обсуждения и обратной связи, цифровая трансформация начинает интерпретироваться как несправедливо организованное вмешательство. В этом случае сопротивление становится не только реакцией на содержание изменений, но и формой ответа на нарушение

морального порядка организации. Для теоретической модели это принципиально важно, поскольку позволяет рассматривать сопротивление не как иррациональный фон, а как социально осмысленную реакцию на качество управленческого процесса.

Отдельный аналитический блок связан с корпоративной культурой. Цифровая трансформация осуществляется в разных организациях по-разному не только из-за различий в технологиях, но и из-за различий в культурной матрице. В организациях, где поддерживаются открытое обсуждение проблем, горизонтальная коммуникация, обучение, экспериментирование и право на ошибку, сопротивление цифровым изменениям, как правило, имеет менее разрушительный характер и чаще трансформируется в конструктивную обратную связь. Напротив, в культурах с жесткой иерархией, формальным подчинением, санкционным управлением и низким уровнем доверия любое нововведение воспринимается как потенциальный источник риска. Сотрудники в таких условиях боятся не столько самой технологии, сколько последствий ошибок, дополнительных форм контроля и возможного использования цифровых данных против них. Из этого следует, что человеческий фактор в цифровой трансформации тесно связан с исторически сложившейся системой организационных значений. Там, где культура компании не поддерживает безопасность обучения и диалога, цифровизация легко превращается в формально внедренную, но внутренне непринятую систему.

Существенное значение имеет и проблема цифровых компетенций, однако исследование показывает, что она не сводится к формальному обучению работе с системой. Компетентность в условиях цифровой трансформации включает не только техническое владение интерфейсом, но и понимание логики цифрового процесса, умение интерпретировать данные, способность принимать решения в новой среде, готовность перестраивать повседневные практики и видеть место собственной функции в изменившейся организационной архитектуре. Именно поэтому простое проведение инструктажа редко приводит к подлинному снижению сопротивления. Если обучение не встроено в реальный рабочий контекст, не сопровождается поддержкой в переходный

период и не помогает сотруднику восстановить чувство профессиональной состоятельности, формально освоенные навыки не превращаются в уверенность. В результате организация получает внешне обученный, но внутренне неадаптированный персонал, продолжающий воспринимать цифровую трансформацию как навязанную нагрузку. Следовательно, преодоление сопротивления требует формирования не только цифровых навыков, но и цифровой субъектности, то есть способности человека воспринимать себя активным участником новой профессиональной среды, а не пассивным объектом технологического давления.

Особое место в анализе занимает феномен скрытого сопротивления. В современных организациях, особенно в условиях выраженного управленческого контроля, открытый отказ от участия в цифровой трансформации встречается сравнительно редко. Намного чаще наблюдаются мягкие формы неисполнения: затягивание сроков, неполный ввод данных, обход новых процедур, параллельное ведение старых систем учета, демонстративное возвращение к бумажным практикам, выборочное использование функций цифровой платформы, постоянное акцентирование технических недостатков и подмена фактического освоения символическим соблюдением новых регламентов. Такая форма сопротивления особенно опасна, поскольку создает иллюзию успешного внедрения. Формально проект может считаться реализованным, система – установленной, сотрудники – обученными, а показатели цифровизации – выполненными. Однако реальная организация при этом продолжает работать по старым правилам, а новая технологическая оболочка выполняет преимущественно декоративную функцию. Для теоретической модели это означает необходимость принципиального различия формального и содержательного принятия изменений.

Анализ показывает, что человеческий фактор обладает двойственной природой. С одной стороны, он выступает источником инерции, защиты привычных режимов и воспроизводства сопротивления, поскольку сотрудники стремятся сохранить устойчивость, предсказуемость и собственную профессиональную ценность. С другой стороны, именно человек является единственным носителем осмысленного принятия, обучения, творческой адаптации и

подлинного включения цифровой системы в рабочую практику. Эта двойственность делает ошибочной любую стратегию, основанную либо на игнорировании человеческого фактора, либо на попытке его исключительно подавить. Подавление сопротивления административным путем может дать краткосрочный эффект формального подчинения, но в долгосрочной перспективе почти неизбежно усиливает скрытые формы отказа и отчуждения. Игнорирование же сопротивления как якобы временного шума лишает организацию важнейшего диагностического ресурса. В материале обосновывается, что сопротивление изменениям способно выполнять не только тормозящую, но и сигнальную функцию. Оно указывает на слабости управленческого дизайна, неучтенные профессиональные риски, дефицит доверия, несправедливость процедур и несоответствие темпа цифровизации реальной готовности организации. Следовательно, аналитически зрелое управление трансформацией должно не просто преодолевать сопротивление, а интерпретировать его как источник информации о состоянии организационной среды.

В рамках теоретической модели значительное место отводится связи между цифровой трансформацией и профессиональной идентичностью. Для многих сотрудников технология становится значимой не потому, что она изменяет набор операций, а потому, что она ставит под вопрос прежние основания профессионального самоуважения. Когда новые цифровые контуры делают прозрачными ранее скрытые процессы, стандартизируют деятельность, снижают роль неформального знания, повышают измеримость результатов и усиливают алгоритмический контроль, это воспринимается как вмешательство в глубинную структуру профессионального существования. В результате сопротивление может быть направлено не на технологию как объект, а на сам процесс символического пересмотра роли человека в организации. Особенно остро это проявляется в тех случаях, когда цифровизация сопровождается дискурсом замещения, оптимизации и повышения прозрачности любой ценой. Если сотрудники видят в трансформации прежде всего угрозу собственной заменимости, пространство для добровольного принятия изменений резко сокращается. Отсюда

следует, что теоретическая модель сопротивления должна учитывать не только рациональные расчеты выгод и издержек, но и символический уровень статус, признание, профессиональное достоинство и ощущение незаменимости внутри организации.

Важным выводом проведенного анализа является то, что успешность цифровой трансформации определяется не столько интенсивностью внедрения технологий, сколько качеством соединения технологического и человеческого контуров. Там, где организация строит цифровизацию исключительно как ИТ-проект, не уделяя внимания социальной архитектуре изменений, вероятность латентного провала резко возрастает. Напротив, там, где цифровая трансформация сопровождается продуманной коммуникацией, справедливо организованным участием персонала, постепенным переходом, обучением, признанием человеческих издержек и реальной перестройкой управленческой культуры, сопротивление чаще принимает форму адаптивного напряжения, а не деструктивного блокирования. Именно в этом состоит принципиальное отличие поверхностной цифровизации от подлинной трансформации: первая меняет инструменты, вторая одновременно меняет способы деятельности и условия принятия этих изменений людьми.

Таким образом, в результате проведенного анализа обосновывается, что роль человеческого фактора в цепочке цифровой трансформации носит фундаментальный характер. Сопротивление изменениям выступает не побочным эффектом внедрения технологий, а закономерным следствием столкновения управленческого импульса преобразований с социальной, культурной и профессиональной структурой организации. Оно возникает на индивидуальном, групповом и организационном уровнях, воспроизводится через когнитивные оценки, коллективные интерпретации и поведенческие стратегии, усиливается при дефиците доверия, справедливости, компетентности и качественной коммуникации и принимает как явные, так и скрытые формы.

Теоретическая модель сопротивления позволяет увидеть цифровую трансформацию не как линейный процесс технологического обновления, а как сложную цепочку взаимосвязанных изменений, в которой человеческий фактор играет роль ключевого посредника между стратегией и практикой. Из этого следует, что управление цифровой трансформацией не может ограничиваться закупкой решений, настройкой систем и формальным обучением персонала. Оно требует глубокого понимания того, как сотрудники воспринимают изменение своей профессиональной реальности, каким образом формируются коллективные реакции на нововведения и при каких условиях сопротивление может быть преобразовано из тормозящего фактора в источник организационного обучения. Именно поэтому в современной теории и практике цифровых преобразований человеческий фактор должен рассматриваться не как периферийное препятствие, а как центральный объект анализа, без учета которого любая цифровая стратегия рискует остаться лишь внешне успешным, но внутренне неосуществленным проектом.

Литература

1. Багратиони К. Сопротивление менеджеров среднего звена цифровой трансформации. 2023.
2. Франк Е.В. Управление сопротивлениями в рамках организационных изменений. 2011.
3. Чернышева Е.Д. Проблемы внедрения цифровых технологий в организации: человеческий фактор. 2022.
4. Белоглазов Е.И. Необходимость управления сопротивлением персонала в условиях происходящих организационных изменений в компании. 2016.
5. Мэнин Х. Изменение организационной культуры предприятия как преодоление сопротивления цифровой трансформации. 2019.
6. Плотников А.В. Проблемы цифровой трансформации и концепция управления изменениями. 2021.

ABILDA Junis

Individual Entrepreneur, an Expert in the Field of IT, Automation and Robotics,
Kazakhstan, Shymkent

**THE ROLE OF THE HUMAN FACTOR
IN THE DIGITAL TRANSFORMATION CHAIN:
A THEORETICAL MODEL OF RESISTANCE TO CHANGE**

Abstract. *The role of the human factor in the processes of digital transformation of an organization is considered through the prism of a theoretical analysis of resistance to change. I believe that the success of digital transformation is determined not only by the level of technological maturity of the enterprise, the quality of the information infrastructure and the volume of investments, but also by the ability of personnel to perceive, interpret and accept organizational changes. Special attention is paid to the analysis of the causes of resistance that arise at the individual, group and organizational levels, including fear of uncertainty, loss of habitual patterns of professional behavior, decreased sense of control, lack of digital competencies and conflict between formal transformation goals and internal attitudes of employees. The paper substantiates the need to build a theoretical model of resistance to change as an element of the overall chain of digital transformation, which makes it possible to identify the relationship between management decisions, organizational culture, communication mechanisms and staff response to the introduction of digital solutions. It is concluded that the human factor is not an external constraint, but an internal system-forming element of digital transformation, and therefore resistance management should be considered as a strategic condition for increasing the effectiveness of transformations.*

Keywords: *human factor, digital transformation, resistance to change, organizational changes, digital competencies, corporate culture, personnel management, employee adaptation, organizational behavior, transformation management.*

АНДРЕЕВ Андрей Андреевич

магистрант,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Россия, г. Москва

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОНИЧЕСКИМИ ПРОТЕЗАМИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Аннотация. В статье рассматриваются нейросетевые методы обработки и интерпретации электромиографических сигналов, используемые в системах нейроуправления бионическими протезами верхней конечности. Показано, что применение алгоритмов машинного обучения и искусственных нейронных сетей позволяет повысить точность распознавания двигательных намерений пользователя, расширить число управляемых степеней свободы и повысить адаптивность протезной системы к индивидуальным физиологическим особенностям.

В работе выполнен анализ современных подходов к классификации ЭМГ-сигналов с использованием нейросетевых моделей, включая многослойные перцептроны, сверточные и рекуррентные нейронные сети. Рассмотрены основные этапы подготовки данных, такие как фильтрация и нормализация сигналов, сегментация по скользящим окнам, формирование признакового пространства и построение обучающих выборок. Отдельное внимание уделено вопросам практической реализации нейросетевых алгоритмов на встроенных вычислительных платформах.

Особый акцент сделан на архитектурных и алгоритмических решениях, обеспечивающих работу систем нейроуправления в режиме реального времени с учётом ограничений по вычислительным ресурсам и энергопотреблению. Показано, что использование нейросетевых методов позволяет повысить устойчивость управления и обеспечить более естественное и интуитивное взаимодействие пользователя с бионическим протезом.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании нейроуправляемых протезных систем нового поколения, а также в дальнейших исследованиях в области биомедицинской инженерии и нейроинтерфейсов.

Ключевые слова: нейронные сети, нейроуправление, электромиография, машинное обучение, классификация сигналов, бионический протез.

Введение

Современные бионические протезы верхней конечности представляют собой сложные мехатронные системы, функциональность и эргономика которых во многом определяются качеством системы управления. Одним из наиболее перспективных направлений развития таких систем является нейроуправление на основе электромиографических сигналов, регистрируемых с поверхности мышц пользователя [2, с. 275-294; 3, с. 643-660; 4].

Классические методы миоэлектрического управления, основанные на пороговой обработке амплитуды ЭМГ или использовании простых линейных классификаторов, позволяющих реализовать лишь ограниченное число степеней свободы и требуют значительной адаптации со стороны пользователя [3, с. 643-660].

Кроме того, такие методы плохо масштабируются при увеличении количества управляемых движений и демонстрируют снижение точности в условиях межсессионной вариабельности сигналов [5, с. 7420-7431].

Применение методов машинного обучения и, в частности, искусственных нейронных сетей позволяет существенно расширить возможности нейроуправляемых протезов. Нейросетевые модели способны автоматически извлекать информативные признаки из сигналов, учитывать нелинейные зависимости и повышать устойчивость распознавания двигательных намерений пользователя [7; 8, с. 33-41]. Это особенно важно для протезов с большим числом степеней свободы и для реализации более естественных и интуитивных схем управления [6, с. 1250-1258].

Целью настоящей работы является анализ нейросетевых методов обработки и классификации электромиографических сигналов в задачах нейроуправления бионическими протезами верхней конечности, а также формирование методического подхода к их реализации на встроенных вычислительных платформах с учётом требований реального времени.

Обзор существующих подходов к нейроуправлению бионическими протезами

Развитие систем нейроуправления бионическими протезами прошло несколько этапов, каждый из которых характеризуется использованием различных принципов обработки биосигналов и алгоритмов управления.

На ранних этапах применялись пороговые и пропорциональные методы, в которых управление приводами протеза осуществлялось на основе амплитуды ЭМГ-сигнала от одной или нескольких мышц. Такие системы отличались простотой и высокой надёжностью, однако позволяли управлять лишь одной-двумя степенями свободы и требовали значительных усилий по обучению пользователя [2, с. 275-294].

Следующим этапом стало развитие методов распознавания паттернов ЭМГ, при которых управление строится на классификации заранее определённого набора жестов или движений. Данный подход позволил существенно расширить функциональность протезов и улучшить эргономику управления, однако столкнулся с проблемами устойчивости при изменении условий регистрации и необходимости частой перекалибровки [3, с. 643-660].

Современные исследования ориентированы на использование нейросетевых и глубоких моделей, которые демонстрируют высокую точность классификации и способность работать с многоканальными сырыми данными. Особенно перспективными являются сверточные и рекуррентные нейронные сети, позволяющие учитывать временную структуру ЭМГ-сигналов и распознавать сложные и одновременные движения [6, с. 1250-1258; 7; 8, с. 33-41].

Несмотря на значительный прогресс, перенос нейросетевых методов из лабораторных условий в клиническую практику остаётся сложной задачей, что связано с требованиями к надёжности, задержке обработки и вычислительным ресурсам встроенных систем [4].

Архитектура системы нейроуправления бионическим протезом

Общая структура системы

Система нейроуправления бионическим протезом представляет собой многоуровневую архитектуру, включающую аппаратные и программные компоненты, функционирующие в режиме реального времени.

Типовая структура системы включает следующие функциональные блоки:

- Модуль регистрации ЭМГ-сигналов, состоящий из электродов, аналоговых усилителей и аналого-цифрового преобразователя.
- Модуль предварительной обработки, реализующий фильтрацию, нормализацию и сегментацию сигналов.
- Интеллектуальный модуль интерпретации, в котором осуществляется классификация или регрессия на основе нейросетевой модели.
- Контур управления исполнительными механизмами, обеспечивающий преобразование управляющих команд в движения протеза.
- Модуль обратной связи, повышающий точность и устойчивость управления за счёт визуальных, тактильных или проприоцептивных сигналов.

Подобная декомпозиция позволяет оптимизировать каждый компонент с учётом его функциональных и вычислительных требований [3, с. 643-660; 4].

Требования к работе в реальном времени

Для обеспечения субъективно естественного управления суммарная задержка системы не должна превышать 200–300 мс. Это накладывает жёсткие ограничения на длину окна анализа, сложность нейросетевой модели и скорость выполнения вычислений. Превышение допустимой задержки приводит к снижению точности управления и ухудшению пользовательского опыта [6, с. 1250-1258].

Регистрация и предварительная обработка электромиографических сигналов

Электромиографический сигнал (рис.) является нестационарным и зашумлённым процессом, содержащим полезную мышечную активность и различные помехи. В общем виде сигнал может быть представлен как:

$$x_c(t) = s_c(t) + n_c(t), \quad (1)$$

Где $s_c(t)$ – полезная компонента, $n_c(t)$ – суммарные помехи [1, с. 1215-1230; 2, с. 275-294].

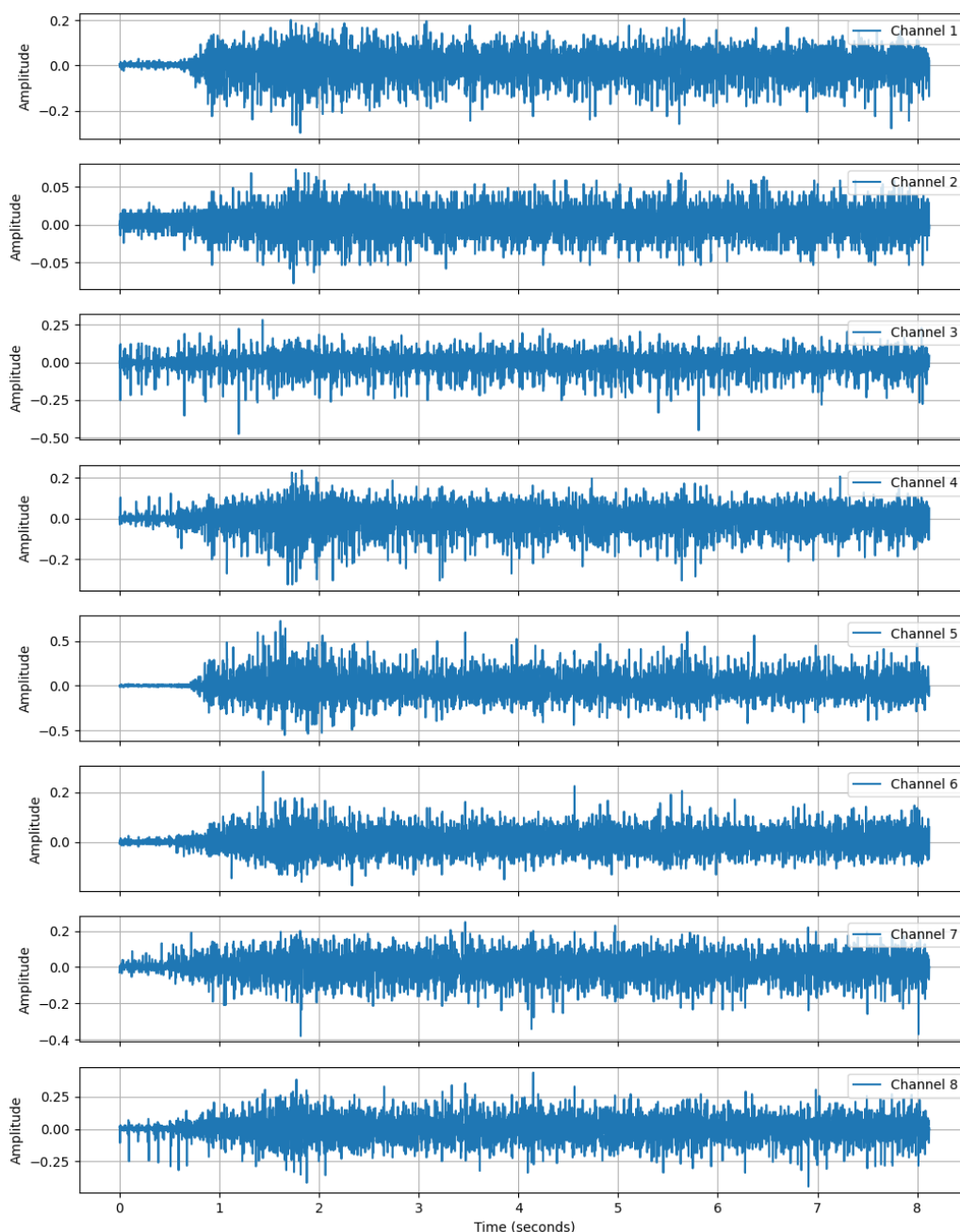


Рис. ЭМГ-сигналы

Частота дискретизации

Дискретизация ЭМГ-сигналов осуществляется с частотой 1000–2000 Гц, что соответствует информативной полосе частот поверхностной ЭМГ (примерно 20–450 Гц) и обеспечивает выполнение условия теоремы Найквиста [1, с. 1215–1230].

Фильтрация

Для подавления дрейфа и высокочастотных помех применяется полосовая фильтрация, как правило в диапазоне 20–450 Гц. Для подавления сетевой наводки используется режекторный фильтр на частоте 50 Гц. Корректность фильтрации является критически важной для

последующих этапов распознавания [2, с. 275–294; 3, с. 643–660].

Нормализация

Для снижения межпользовательской и межсессионной вариабельности применяются методы стандартизации, Min–Max нормализации и нормализации по MVC. Выбор метода определяется задачей управления и условиями сбора данных [3, с. 643–660; 5, с. 7420–7431].

Сегментация и формирование обучающих выборок

Для подачи данных на вход нейросетевой модели ЭМГ-сигналы сегментируются по скользящим окнам длительностью 150–250 мс с перекрытием 50–75%. Такой подход обеспечивает

компромисс между устойчивостью классификации и задержкой принятия решения [3, с. 643-660; 6, с. 1250-1258].

Формирование обучающей выборки включает разметку данных по классам движений, балансировку классов и разделение данных на обучающую, валидационную и тестовую подвыборки.

Формирование входного пространства нейросетевых моделей

Признаковый подход

В признаковом подходе каждый сегмент ЭМГ преобразуется в вектор признаков фиксированной размерности. Наиболее распространёнными являются временные и частотные признаки, такие как RMS, MAV, длина волны и медианная частота [5, с. 7420-7431].

Преимуществами данного подхода являются низкая вычислительная сложность и устойчивость при ограниченном объёме данных. Основным недостатком является необходимость ручного подбора признаков и снижение переносимости моделей [3, с. 643-660].

Подход на основе сырых данных

При использовании сырых временных рядов задача извлечения информативных представлений полностью перекладывается на нейросетевую модель. Такой подход широко применяется в deep learning и позволяет повысить точность распознавания, однако требует большего объёма данных и вычислительных ресурсов [7; 8, с. 33-41].

Нейросетевые модели классификации ЭМГ-сигналов

В задачах нейрорегуляции применяются различные архитектуры нейронных сетей.

Многослойные перцептроны (MLP) используются как базовые модели для признаковых векторов и отличаются низкой вычислительной сложностью [5, с. 7420-7431].

Сверточные нейронные сети (CNN) позволяют автоматически извлекать локальные временные паттерны из ЭМГ-сигналов и демонстрируют высокую устойчивость к шуму и смещению электродов [7].

Рекуррентные нейронные сети (LSTM, GRU) учитывают временной контекст и эффективны при распознавании переходных движений, однако обладают повышенной вычислительной сложностью [8, с. 33-41].

Обучение и оценка качества моделей

Обучение нейросетевых моделей осуществляется в офлайн-режиме с использованием размеченных данных. В качестве функции потерь

применяется категориальная кросс-энтропия, оптимизация выполняется методами градиентного спуска (например, Adam).

Качество классификации оценивается по метрикам accuracy, precision, recall и матрице ошибок, а также по устойчивости к шумам и смещению электродов [3, с. 643-660; 6, с. 1250-1258].

Реализация нейросетевых моделей на встроенных платформах

Внедрение нейросетевых алгоритмов в нейрорегулируемые протезы требует оптимизации моделей за счёт уменьшения числа параметров, квантования весов и вычислений в фиксированной точке. Облегчённые CNN и MLP способны работать в реальном времени на микроконтроллерах при частоте обновления команд 5–10 Гц [6, с. 1250-1258; 8, с. 33-41].

Результаты и сравнительный анализ

Сравнительный анализ нейросетевых моделей показывает, что переход от признаковых моделей к deep learning на сырых данных обеспечивает прирост точности распознавания. При этом CNN демонстрируют наиболее сбалансированное соотношение между точностью и задержкой, что делает их предпочтительными для практической реализации [7; 8, с. 33-41].

Ограничения и проблемы нейросетевых методов

К основным ограничениям относятся межсессионная вариабельность ЭМГ, ограниченный объём обучающих данных, вычислительные ограничения встроенных систем и низкая интерпретируемость решений нейросетей [3, с. 643-660; 4; 5, с. 7420-7431].

Заключение

В работе показано, что нейросетевые методы являются эффективным инструментом для нейрорегуляции бионическими протезами верхней конечности. Наиболее перспективными для практического применения являются облегчённые сверточные нейронные сети, обеспечивающие баланс между точностью, устойчивостью и быстродействием. Полученные результаты формируют методическую основу для разработки адаптивных и высокоэффективных протезных систем нового поколения.

Литература

1. Farina D., Merletti R., Enoka R. The extraction of neural strategies from the surface EMG: an update // Journal of Applied Physiology. – 2014. –

Vol. 117, No. 11. – P. 1215-1230. DOI: 10.1152/jap-physiol.00162.2014.

2. Oskoei M.A., Hu H. Myoelectric control systems – A survey // Biomedical Signal Processing and Control. – 2007. – Vol. 2, No. 4. – P. 275-294. DOI: 10.1016/j.bspc.2007.07.009.

3. Scheme E., Englehart K. Electromyogram pattern recognition for control of powered upper-limb prostheses: State of the art and challenges for clinical use // Journal of Rehabilitation Research & Development. – 2011. – Vol. 48, No. 6. – P. 643-660. DOI: 10.1682/JRRD.2010.09.0177.

4. Atzori M., Müller H. Control capabilities of myoelectric robotic prostheses by hand amputees: A scientific research and market overview // Frontiers in Systems Neuroscience. – 2015. – Vol. 9. – Article 162. DOI: 10.3389/fnsys.2015.00162.

5. Phinyomark A., Phukpattaranont P., Lim-sakul C. Feature reduction and selection for EMG signal classification // Expert Systems with

Applications. – 2012. – Vol. 39, No. 8. – P. 7420-7431. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.01.102.

6. Young A.J., Smith L.H., Rouse E.J., Hargrove L.J. Classification of simultaneous movements using surface EMG pattern recognition // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 60, No. 5. – P. 1250-1258. DOI: 10.1109/TBME.2012.2232293.

7. Atzori M., Cognolato M., Müller H. et al. Deep learning with convolutional neural networks applied to electromyography data: A resource for the classification of movements for prosthetic hands // Frontiers in Neurorobotics. – 2016. – Vol. 10. – Article 9. DOI: 10.3389/fnbot.2016.00009.

8. Banville H., Falk T.H. EMG signal classification using deep learning architectures // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2019. – Vol. 27, No. 1. – P. 33-41. DOI: 10.1109/TNSRE.2018.2880517.

ANDREEV Andrey Andreevich

Master's Student,

Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow

NEURAL NETWORK MANAGEMENT METHODS FOR BIONIC UPPER LIMB PROSTHESES BASED ON THE CLASSIFICATION OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS

Abstract. *The article examines neural network-based methods for processing and interpreting electromyographic signals used in neuro-controlled upper-limb prosthetic systems. It is shown that the application of machine learning algorithms and artificial neural networks improves motion intention recognition accuracy, increases the number of controllable degrees of freedom, and enhances system adaptability to individual physiological characteristics.*

The study analyzes modern approaches to EMG signal classification using neural network models, including multilayer perceptrons, convolutional neural networks, and recurrent neural networks. Key stages of data preparation are considered, such as signal filtering and normalization, sliding-window segmentation, feature representation, and dataset formation. Particular attention is paid to practical aspects of implementing neural network algorithms on embedded computing platforms.

Special emphasis is placed on architectural and algorithmic solutions that enable real-time operation under constraints on computational resources and power consumption. The results demonstrate that neural network-based approaches improve control robustness and provide more natural and intuitive user interaction with bionic prosthetic devices.

Keywords: *neural networks, neurocontrol, electromyography, machine learning, signal classification, bionic prosthesis.*

НЕКЛЮДОВ Артём Владимирович

магистрант, Московский финансово-юридический университет МФЮА, Россия, г. Москва

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМУ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ

***Аннотация.** В статье рассматриваются основные направления интеграции искусственного интеллекта в систему принятия управленческих решений организации. Выявлены ключевые преимущества применения интеллектуальных алгоритмов в анализе данных, прогнозировании и выборе альтернатив, а также систематизированы организационные, этические и технологические ограничения внедрения. Методическую основу работы составили анализ научной литературы, сравнительный подход и логическое обобщение современных подходов к цифровому менеджменту. Сделан вывод о том, что наибольший эффект достигается при сочетании инструментов искусственного интеллекта с профессиональной экспертизой руководителя.*

***Ключевые слова:** искусственный интеллект, управленческие решения, цифровизация, аналитика данных, менеджмент, автоматизация.*

Введение

В условиях цифровой трансформации организации все чаще принимают решения на основе больших массивов данных, а не только на основе интуиции и управленческого опыта. Это повышает требования к скорости анализа, точности прогнозов и способности быстро сопоставлять несколько альтернатив. В такой среде искусственный интеллект становится важным инструментом поддержки менеджмента, поскольку позволяет выявлять закономерности, которые трудно обнаружить при традиционной обработке информации [1, с. 363-379; 5].

Актуальность темы определяется тем, что современная организация действует в условиях высокой неопределенности: усиливается конкуренция, сокращается горизонт планирования, меняется поведение клиентов и растет объем информации, подлежащей обработке. По этой причине интеллектуальные системы все активнее используются в прогнозировании спроса, оценке рисков, распределении ресурсов и контроле исполнения решений [2; 4, с. 230-240].

Цель статьи – определить основные возможности и вызовы интеграции искусственного интеллекта в систему принятия управленческих решений организации. Для достижения этой цели рассматриваются функции искусственного интеллекта в менеджменте, анализируются ограничения его применения и

формулируются условия результативного внедрения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает система принятия управленческих решений в организации. Предмет исследования составляют возможности, ограничения и эффекты использования технологий искусственного интеллекта при анализе данных, выборе альтернатив и контроле реализации решений.

В работе применены методы анализа и обобщения научной литературы, сравнительный подход и логический анализ. Теоретическую базу составили исследования, посвященные алгоритмизации управленческих решений, цифровой трансформации менеджмента и внедрению интеллектуальных систем в практику организаций [1, с. 363-379; 2; 3, с. 162-168; 4, с. 230-240; 5].

Результаты и их обсуждение

Система принятия управленческих решений включает несколько взаимосвязанных этапов: выявление проблемы, сбор информации, формирование вариантов действий, оценку последствий, выбор решения и контроль результатов. Интеграция искусственного интеллекта затрагивает почти каждый из этих этапов. Алгоритмы могут автоматически собирать данные, находить аномалии, строить прогнозы и ранжировать альтернативы по заданным критериям [5].

Наиболее заметный эффект искусственный интеллект дает там, где решение повторяется регулярно и зависит от большого числа переменных. К таким задачам относятся прогнозирование продаж, управление запасами, сегментация клиентов, анализ обращений, выявление рисков и планирование ресурсов. В этих случаях интеллектуальные модели сокращают время обработки информации и уменьшают долю субъективных ошибок [1, с. 363-379; 3, с. 162-168].

С управленческой точки зрения ценность искусственного интеллекта заключается не

только в ускорении расчетов, но и в переходе от реактивного управления к превентивному. Руководитель получает не только отчет о прошедших событиях, но и вероятностную оценку будущих отклонений, а также несколько сценариев действий. Это особенно важно в ситуациях, когда цена ошибки высока, а время на принятие решения ограничено [1, с. 363-379; 4, с. 230-240].

Ключевые направления применения искусственного интеллекта в управлении и связанные с ними ограничения представлены в таблице.

Таблица

Возможности и ограничения применения искусственного интеллекта в менеджменте

Направление применения	Управленческий эффект	Основное ограничение
Прогнозирование спроса и продаж	Повышение точности планирования и снижение вероятности дефицита или избыточных запасов	Зависимость результата от полноты и качества исторических данных
Оценка рисков	Более быстрое выявление вероятных отклонений и проблемных зон	Сложность объяснения логики отдельных моделей
Планирование ресурсов	Оптимизация распределения персонала, времени и финансов	Необходимость интеграции с внутренними информационными системами
Обработка текстов и обращений	Быстрое выявление типовых проблем, запросов и повторяющихся сценариев	Риск ошибок при интерпретации контекста и деловой специфики

Наряду с преимуществами внедрение искусственного интеллекта связано с рядом принципиальных вызовов. Первый из них - качество данных. Даже сложный алгоритм не обеспечивает полезный результат, если исходная информация неполна, противоречива или собирается без единых стандартов. В этом случае организация получает не повышение объективности, а лишь цифровую форму старых ошибок [2].

Второй вызов связан с интерпретируемостью моделей. Для руководителя важно не только получить рекомендацию, но и понимать логику, на которой она основана. В стратегических, кадровых и инвестиционных решениях непрозрачность алгоритма снижает доверие к технологии. Поэтому в управленческой практике наиболее оправдана гибридная модель, при которой искусственный интеллект выполняет функцию аналитического помощника, а окончательный выбор остается за человеком [3, с. 162-168; 4, с. 230-240].

Третий вызов имеет организационный характер. Внедрение искусственного интеллекта требует изменения регламентов, распределения ответственности, обучения персонала и

пересмотра существующих бизнес-процессов. Если интеллектуальный инструмент внедряется в неэффективную управленческую среду, он не устраняет слабые места, а только ускоряет их воспроизводство [2; 4, с. 230-240].

Следовательно, эффективная интеграция искусственного интеллекта возможна при соблюдении нескольких условий: наличии качественной инфраструктуры данных, выборе конкретных задач с измеримым результатом, поэтапном внедрении и четком разграничении ролей между алгоритмом и руководителем. Именно такая модель позволяет получить устойчивый эффект без потери управленческого контроля [1, с. 363-379; 5].

Заключение

Искусственный интеллект становится значимым элементом современной системы управления организацией. Его использование повышает качество аналитической поддержки решений, ускоряет обработку информации и помогает выбирать более обоснованные варианты действий. Наибольший эффект наблюдается в повторяющихся процессах, где требуется быстрое сопоставление большого количества факторов.

Вместе с тем искусственный интеллект не может рассматриваться как полная замена управленцу. Результативность его применения определяется качеством данных, зрелостью организационной среды и способностью менеджмента интерпретировать рекомендации алгоритма. Поэтому перспективной является модель, в которой искусственный интеллект усиливает профессиональное управленческое суждение, а не подменяет его.

Литература

1. Бакенова А.К., Бахтеев Д.В. Совершенствование механизмов принятия управленческих решений с использованием технологий искусственного интеллекта // Scientific Journal of Pedagogy and Economics. 2025. Т. 413. № 1. С. 363-379. DOI: 10.32014/2025.2518-1467.902.
2. Виноградова Е.Ю., Галимова А.И., Андреева С.Л. Анализ систем поддержки принятия управленческих решений на предприятиях сферы услуг с применением моделей оптимизации управления процессами принятия

управленческих решений // Журнал правовых и экономических исследований. 2024. № 4. DOI: 10.26163/GIEF.2024.44.90.048.

3. Кочетов Д.И. Стратегии внедрения систем искусственного интеллекта для повышения эффективности управленческих решений в организациях // Вопросы экономики и управления. 2024. № 4. С. 162-168. DOI: 10.47629/2074-9201_2024_4_162_168.

4. Левушкина С.В. Направления применения искусственного интеллекта при принятии управленческих решений на предприятиях АПК // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Экономика». 2025. № 3. С. 230-240. DOI: 10.53598/2410-3683-2025-3-365-230-240.

5. Соколов А.П., Балаханова Д.К., Максимов М.И., Полтарыхин А.Л., Фатьянова И.Р. Алгоритм принятия управленческих решений с использованием искусственного интеллекта: теория и практика // Regional and Branch Economy. 2024. DOI: 10.47576/2949-1916.2024.37.39.001.

NEKLYUDOV Artem Vladimirovich

Master's Student, Moscow University of Finance and Law MFUA, Russia, Moscow

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO THE ORGANIZATIONAL MANAGEMENT DECISION-MAKING SYSTEM: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Abstract. *The article examines the main directions of integrating artificial intelligence into the organizational management decision-making system. The key advantages of intelligent algorithms in data analysis, forecasting, and choosing alternatives are identified, and the organizational, ethical, and technological limitations of implementation are systematized. The methodological basis of the study includes the analysis of scientific literature, a comparative approach, and the logical generalization of contemporary approaches to digital management. It is concluded that the greatest effect is achieved when artificial intelligence tools are combined with the professional expertise of the manager.*

Keywords: *artificial intelligence, management decisions, digitalization, data analytics, management, automation.*

ШЕПТАЛОВ Дмитрий Денисович

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

ДЕРЕВЯНКО Петр Сергеевич

сотрудник, Академия ФСО России, Россия, г. Орел

*Научный руководитель – сотрудник Академии ФСО России,
кандидат технических наук Егоров Игорь Юрьевич*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА TETRA ПОСРЕДСТВОМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Аннотация. В статье рассматривается способ повышения надёжности систем экстренной связи стандарта TETRA с помощью волоконно-оптических технологий. Описывается принцип работы технологии «Радиочастота через оптоволокно» (RoF), которая позволяет передавать радиосигналы по оптическому кабелю без потери качества. Такой подход помогает устранить «слепые зоны» в городах, повысить устойчивость связи к помехам и обеспечить стабильную работу сетей даже в сложных условиях.

Ключевые слова: Стандарт TETRA, критически важная связь, технология Radio over Fiber (RoF), оптический ретранслятор, расширение зоны покрытия, вектор ошибки модуляции (EVM), удалённый мониторинг, стандарты ETSI, помехоустойчивость.

Системы связи TETRA, изначально предназначенные для экстренных служб, сталкиваются с проблемами в современных мегаполисах. Традиционные радиоинтерфейсы теряют надёжность из-за электромагнитных помех, задержек и уязвимости антенной инфраструктуры. Эти факторы критичны в массовых инцидентах, когда нагрузка на сеть максимальна, что создает риски для служб быстрого реагирования.

Актуальность исследования связана с ростом требований к отказоустойчивости инфраструктуры на фоне увеличения чрезвычайных ситуаций. Необходимость систематизации данных о волоконно-оптических решениях, соответствующих стандартам ETSI, важна для модернизации TETRA-сетей. Разработка рекомендаций по интеграции оптических технологий повысит надёжность связи для государственных служб.

Цель работы – провести аналитический обзор волоконно-оптических решений для TETRA-систем с оценкой их применимости. Исследование включает анализ архитектурных ограничений, совместимости оптических технологий с TETRA, оценку эффективности Radio over Fiber (RoF) и разработку практических

рекомендаций. Особое внимание уделено оценке технико-экономической эффективности.

Ключевая гипотеза заключается в том, что RoF обеспечивает оптимальное сочетание характеристик для расширения покрытия и повышения отказоустойчивости TETRA-сетей. Сравнительный анализ и моделирование подтверждают преимущества RoF в минимизации задержек и повышении помехоустойчивости, что делает этот подход перспективным для проектирования инфраструктуры критической связи.

Экстремальные условия (температурные перепады, влажность, механические воздействия) снижают работоспособность радиооборудования TETRA. Деграция передатчиков проявляется в ухудшении качества сигнала и росте коэффициента ошибок. Кумулятивное воздействие неблагоприятных факторов приводит к преждевременному отказу компонентов и пропорциональному снижению устойчивости каналов связи.

Чрезвычайные ситуации создают условия для каскадных отказов узлов связи, что нарушает координацию между службами быстрого реагирования. «Критические коммуникации

можно определить как надежные коммуникации между первыми реагирующими службами (например, полиция, пожарная служба, медицинский персонал и т. д.) в ходе выполнения миссий. Один из ключевых элементов, обеспечивающих успех миссии, – это координация всех участников, которая может быть достигнута путем эффективного и унифицированного обмена критической информацией [5, с. 1]». Одновременный выход инфраструктуры из строя приводит к фрагментации сети и потере данных, что требует реализации механизмов автоматического восстановления и избыточности каналов.

Надёжность систем TETRA снижается под воздействием трёх факторов: внешние радиопомехи нарушают целостность сигнала; латентность цифровой обработки создаёт критические задержки; физическая уязвимость ретрансляторов к погодным и техногенным воздействиям ограничивает доступность инфраструктуры.

Традиционные TETRA-системы ограничены в пропускной способности при пиковых нагрузках из-за ориентации на голос и низких скоростей данных, что вызывает перегрузку сети и задержки. Это требует альтернативных архитектур.

Волоконно-оптическая передача использует модуляцию света в кварцевом волокне с полным внутренним отражением для минимизации потерь. Основные компоненты – лазерные диоды и фотодетекторы. Для снижения искажений применяются источники с длинами волн 1310 и 1550 нм.

Оптические каналы превосходят медные линии: затухание сигнала в волокне составляет 0.2–0.5 дБ/км, тогда как у медных – 10–40 дБ/км. Полоса пропускания достигает 100 ТГц благодаря WDM, а отсутствие электромагнитной интерференции обеспечивает стабильность передачи.

Стандарт TETRA требует строгих временных параметров передачи данных, особенно синхронизации базовых станций. Волоконно-оптические каналы должны учитывать задержки сигнала: не более 20 мс для голоса и 50 мс для данных. Длина оптического кабеля влияет на задержку, что нужно компенсировать на уровне протоколов синхронизации. Спецификация ETSI EN 300 392-2 определяет требования к синхронизации для распределенных систем.

Интеграция базовых станций TETRA с оптическими системами требует специализированных интерфейсных преобразователей. Для

согласования электрических сигналов с оптическими несущими используются модуляторы Mach-Zehnder с полосой до 2,5 ГГц. Протоколы CPRI и OBSAI адаптированы для передачи TETRA-трафика через волоконно-оптические линии с сохранением временных меток. Буферные схемы компенсации задержек помогают нивелировать расхождения в синхронизации.

Лабораторные испытания подтвердили соответствие волоконно-оптических решений стандарту TETRA с модуляторами 1,25–2,5 ГГц. Задержка передачи пакетов составила 15–18 мс при 50 км кабеля, что соответствует требованиям. Тестирование модуляторов на основе LiNbO₃ показало коэффициент ошибок BER менее 10^{-12} при 34 Мбит/с, подтверждая возможность интеграции оптических решений в инфраструктуру TETRA без изменения протоколов.

Технология Radio over Fiber (RoF) обеспечивает преобразование радиочастотных сигналов стандарта TETRA в оптический формат для передачи по волоконно-оптическим линиям связи. Принцип работы основан на модуляции лазерного излучения аналоговым радиосигналом без его оцифровки, что сохраняет исходные параметры несущей частоты и модуляции. Передача оптического сигнала по волокну характеризуется низкими потерями и высокой пропускной способностью, что особенно важно для критической связи. Данный подход позволяет преодолеть ограничения традиционных радиорелейных систем, связанные с затуханием сигнала в свободном пространстве.

Оптические сети PON являются экономичным решением для распределения сигналов в критических системах связи. Их архитектура позволяет разделять ресурсы между абонентами через пассивные сплиттеры, снижая эксплуатационные расходы. Однако разделение полосы пропускания может ограничивать производительность при пиковых нагрузках, что требует тщательного планирования для соответствия требованиям TETRA. Технология DWDM обеспечивает высокую пропускную способность, передавая множество оптических каналов по одному волокну на разных длинах волн, что минимизирует задержки и взаимные помехи. DWDM демонстрирует в 3–5 раз большую спектральную эффективность по сравнению с традиционными решениями, что делает его предпочтительным для магистральных участков TETRA.

В статье «Radio Frequency over Fibre Optics Repeater for Mission-Critical Communications»

разработано готовое решение оптического ретранслятора для стандарта TETRA [5, с. 1]. Ретранслятор реализует технологию Radio-over-Fiber (RoF) с аналоговым переносом РФ-сигнала в оптический диапазон без демодуляции, что обеспечивает прозрачную передачу сигналов с минимальными искажениями. Принцип работы системы организован следующим образом:

- Нисходящий канал (DL): оптический сигнал → фотодиод → усиление → антенна;
- Восходящий канал (UL): антенна → малошумящий усилитель → лазерный передатчик → оптоволокно.

В результате анализ кейсов внедрения волоконно-оптических решений в системах экстренного реагирования демонстрирует значительное повышение доступности связи. Внедрение технологии Radio over Fiber (RoF) позволило снизить время отклика систем TETRA на 30–40% по сравнению с традиционными радиорелейными решениями. Более того, уменьшение задержек передачи данных обеспечило оперативное взаимодействие служб при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, при этом оптимизация сетевой инфраструктуры способствовала повышению общей надёжности коммуникационных процессов в критических условиях.

Дополнительно опыт интеграции волоконно-оптических технологий в транспортных сетях TETRA подтвердил их устойчивость к электромагнитным помехам в условиях плотной городской застройки. Применение архитектур PON обеспечило расширение зоны покрытия до 80 км без необходимости установки дополнительных ретрансляторов, а технология DWDM позволила мультиплексировать до 40 каналов связи на одном оптическом волокне, повышая пропускную способность транспортных коридоров. В конечном итоге реализованные проекты показали снижение частоты отказов оборудования на 25% при сохранении стабильной задержки передачи сигнала.

Важно отметить, что экспериментальная валидация разработанного ретранслятора подтвердила его соответствие требованиям стандарта TETRA. Измерения качества модуляции $\pi/4$ DQPSK показали значения вектора ошибки модуляции (EVM) в диапазоне 1,84–2,91%, что существенно ниже порогового значения 5%, установленного спецификацией ETSI. Кроме того, автоматизированное тестирование службы коротких данных (SDS) в течение 18 часов продемонстрировало 98% успешной

доставки сообщений (1085 из 1103), что подтверждает стабильность канала связи при длительной эксплуатации.

С точки зрения архитектуры развёртывания, система поддерживает как топологию «точка-точка» для одиночных удалённых зон, так и кластерную конфигурацию типа Daisy-chain для обслуживания до пяти ретрансляторов от одной системы съёма сигнала. При этом расчёт бюджета линии связи для сценария с излучающим кабелем показал возможность покрытия дистанции до 3,71 км при сохранении минимального уровня принимаемого сигнала –100 дБм для мобильной станции TETRA.

Особое внимание в разработке уделено системе удалённого мониторинга и управления на базе протокола MQTT. Контрольная панель обеспечивает отслеживание ключевых параметров: мощности лазера, температуры усилителя, оптической мощности приёма/передачи, а также счётчиков ошибок и времени безотказной работы. Благодаря этому операторы получают возможность оперативного выявления неисправностей и предотвращения деградации сервиса до возникновения критических отказов.

Эксплуатационные риски включают уязвимость кабелей к механическим повреждениям. Для минимизации последствий необходимы кольцевые топологии и дублирование каналов, что повышает надёжность, но увеличивает затраты на развёртывание.

Капитальные затраты на развертывание волоконно-оптической инфраструктуры для систем TETRA требуют значительных первоначальных инвестиций, однако они компенсируются снижением эксплуатационных расходов в долгосрочной перспективе. Это связано с увеличенным сроком службы оптических компонентов и меньшими требованиями к их техническому обслуживанию по сравнению с традиционными решениями. «Поэтому наиболее эффективным представляется применение предложенной технологии для решений класса FTTB, а также в мощных локальных сетях, особенно в тех случаях, когда ощущается нехватка волокон в уже проложенных кабелях, а требуется проводить расширение сети доступа [2, с. 36]». Данный подход позволяет оптимизировать использование существующей инфраструктуры, минимизируя необходимость в дополнительных капиталовложениях при масштабировании сети.

Обзор подтвердил, что технология Radio over Fiber (RoF) эффективно устраняет

уязвимости систем TETRA. Исследование показало, что традиционные радиоинтерфейсы страдают от помех и задержек в мегаполисах. Внедрение волоконно-оптических решений решает эти проблемы, обеспечивая надежную связь без значительных затрат.

Сравнительный анализ выявил преимущества RoF: повышенная помехоустойчивость, безопасность данных и масштабируемость. RoF расширяет покрытие и минимизирует задержки, что подтверждается моделированием и практическими примерами.

Несмотря на ограничения по затратам и интеграции с унаследованными системами, предложенные архитектурные решения снижают риски. Поэтапное внедрение технологий PON/DWDM оптимизирует баланс между надежностью и экономической целесообразностью, создавая основу для устойчивого развития TETRA-инфраструктуры.

Результаты исследования важны для модернизации систем критической связи, предлагая рекомендации по выбору волоконно-оптических конфигураций. Разработанные подходы повышают устойчивость коммуникаций в чрезвычайных ситуациях, соответствуя требованиям к бесперебойной работе служб и

формируя теоретическую базу для оптимизации TETRA-сетей.

Литература

1. Аксёнов В.А. Проектирование сети транкинговой связи стандарта TETRA: Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Системы подвижной радиосвязи» для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» дневной и заочной форм обучения. – Минск: БГУИР, 2006. – 20 с.
2. Ефимов В.В., Никульский И.Е., Ясинский С.А. и др. Применение технологии WDM-PON для построения широкополосных сетей доступа // Информация и космос. – 2016. – № 2. – С. 33-37.
3. Нарышкин М.И. Концепция построения распределенной сети радиосвязи на базе технологии radio-over-fiber // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – № 4. – С. 432-439.
4. Соколов С.А. Волоконно-оптические линии связи и их защита от внешних влияний. – Москва: Инфра-Инженерия, 2019. – 172 с.
5. Bărtușică R.-G., Mihai M., Halunga S. и др. Radio frequency over fibre optics repeater for mission-critical communications: Design, execution and test // Sensors. – 2022. – № 22. – С. 1-23.

SHEPTALOV Dmitry Denisovich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

DEREVYANKO Petr Sergeevich

Employee, Academy of the Federal Protective Service of Russia, Russia, Orel

*Scientific Advisor – Employee of the Academy of the Federal Protective Service of Russia,
Candidate of Technical Sciences Egorov Igor Yurievich*

IMPROVING THE RELIABILITY OF TETRA STANDARD CRITICAL COMMUNICATION SYSTEMS THROUGH FIBER-OPTIC SOLUTIONS: AN ANALYTICAL REVIEW

Abstract. *The article examines a method for improving the reliability of emergency communication systems based on the TETRA standard through the use of fiber-optic technologies. It describes the operating principle of the "Radio over Fiber" (RoF) technology, which enables the transmission of radio signals over optical cables without quality degradation. This approach helps eliminate "dead zones" in urban areas, enhances signal immunity to interference, and ensures stable network operation even under challenging conditions.*

Keywords: *TETRA standard, mission-critical communications, Radio over Fiber (RoF) technology, optical repeater, coverage extension, Error Vector Magnitude (EVM), remote monitoring, ETSI standards, interference immunity.*

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2026 • № 13 (299)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

Учредитель и издатель: ООО «Агентство перспективных научных исследований»

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

Email: info@apni.ru

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 01.04.2026г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40