

УДК 656.21

Комплексная система безопасности на железной дороге с применением FPV-дронов

А. Т. Попов, О. А. Суслова, М. А. Чехов, А. И. Малахов

Липецкий государственный технический университет, Российская Федерация, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30

Для цитирования: Попов А. Т., Суслова О. А., Чехов М. А., Малахов А. И. Комплексная система безопасности на железной дороге с применением FPV-дронов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 4. — С. 1106–1118. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-4-1106-1118

Аннотация

Цель: Создание эффективной системы контроля инфраструктуры железнодорожного транспорта, обеспечивающей непрерывное патрулирование состояния путей на протяженных участках. **Методы:** Методология исследования базируется на использовании современных беспилотных технологий, включающих автоматизированные системы управления полетами и обработки данных. Предложенная концепция предусматривает разделение железнодорожной сети на участки протяженностью 100–200 км с организацией базовых пунктов управления на станциях. Видеопоток с FPV-дронов будет передаваться на удаленный сервер, оснащенный искусственным интеллектом (ИИ), который, в зависимости от степени опасности возникающей угрозы, будет либо самостоятельно принимать решения, либо формировать список рекомендаций для последующей их передачи работникам железной дороги.

В работе рассмотрены этапы внедрения предлагаемой технологии. Разработан алгоритм функционирования системы безопасности с использованием FPV-дронов, а также проанализированы различные варианты патрулирования — для каждого из них построены графики движения дронов. Кроме того, исследованы: нормативно-правовая база, потенциальные риски, экономическая эффективность проекта, а также вопрос идентификации БПЛА со стороны сотрудников железной дороги и населения.

Научная новизна: Заключается в интеграции современных беспилотных технологий в существующую инфраструктуру железнодорожного транспорта, что позволяет создать эффективную и экономически целесообразную систему безопасности. Разработанная система может служить основой для дальнейшего развития технологий контроля за состоянием железнодорожных путей с использованием БПЛА.

Результаты: Внедрение данной системы позволит: существенно повысить уровень безопасности железнодорожных перевозок, сократить время реагирования на возникающие угрозы, повысить качество

контроля железных дорог и минимизировать влияние человеческого фактора на процесс мониторинга. **Практическая значимость:** Система безопасности на железнодорожном транспорте с применением FPV-дронов имеет большую практическую значимость и может быть использована на участках с повышенной террористической угрозой, в труднодоступных местах, в условиях чрезвычайных ситуаций для поиска розыскных работ и оценки последствий случившейся аварии или катастрофы, для оперативного контроля ремонтных работ на перегонах.

Ключевые слова: Безопасность на железнодорожном транспорте, приграничные регионы, чрезвычайные ситуации на железнодорожном транспорте, терроризм, FPV-дрон, искусственный интеллект, автоматическое принятие решений, система автономной работы дрона, рабочий цикл дрона, многокомплектность, варианты патрулирования.

Анализ статистики чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте

Железнодорожный транспорт во все годы своего существования и по сей день из-за своей доступности и дешевизны является наиболее востребованным как для пассажирских перевозок, так и для грузовых. Обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте является приоритетным направлением деятельности всех структур отрасли, поскольку от этого зависит не только сохранность грузов и подвижного состава, но и, самое главное, — жизни и здоровье людей. На сегодняшний день железнодорожный транспорт является одним из наиболее безопасных среди остальных видов [1], однако на нем все равно случаются аварии, подробная статистика которых приведена ниже.

Согласно данным 2024 г., факторами, приводящими к чрезвычайным ситуациям, являются (рис. 1).

По месту происшествия чрезвычайные ситуации делятся следующим образом (рис. 2).

На основании актуальных данных террористические акты составляют незначительную долю от общего числа чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте (около 5 %), однако их социальная значимость и последствия крайне высоки [2, 3].

Цель, практическая значимость

Целью данной статьи является разработка комплексной системы безопасности железнодорожных участков, основанной на применении FPV-дронов. FPV-дрон (от англ. *First Person View* — «вид от первого лица») представляет собой современный беспилотный летательный аппарат, оснащенный специальной камерой и передовой системой трансляции видеозображения. Особенность данного устройства заключается в том, что пилот получает возможность наблюдать за полетом в режиме реального вре-

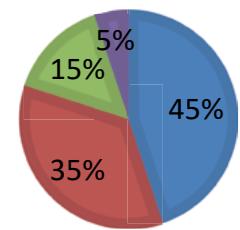


Рис. 1. Факторы, приводящие к чрезвычайным ситуациям на железнодорожном транспорте (выполнено авторами)

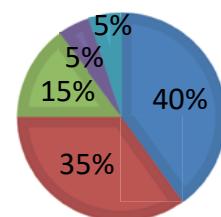


Рис. 2. Места происшествий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте (выполнено авторами)

мени, словно находясь непосредственно в воздушном судне [4, 5]. Предлагаемая система без затратных объездов на автомобилях или дрезинах будет обеспечивать мониторинг состояния пути и искусственных сооружений на перегонах в режиме реального времени, благодаря чему удастся оперативно выявлять потенциальные угрозы и акты незаконного вмешательства (АНВ) и своевременно реагировать на них.

Система безопасности на железнодорожном транспорте с применением FPV-дронов имеет

большую практическую значимость и может быть использована на участках с повышенной террористической угрозой, в труднодоступных местах, в условиях чрезвычайных ситуаций для поиска розыскных работ и оценки последствий случившейся аварии или катастрофы, для оперативного контроля ремонтных работ на перегонах.

Перед разработкой проекта была внимательно изучена статья Михаила Иващевского [6], в которой говорится об интеллектуальных системах видеонаблюдения на железнодорожных перегонах. Однако принцип работы нашего проекта отличается: вместо стационарных систем предусматривается использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных средствами фотовидеофиксации. Кроме того, данный проект будет внедряться не на одном виде железнодорожной инфраструктуры, а на протяженных участках железной дороги.

Преимущества FPV-дронов перед стационарными камерами видеонаблюдения

1. Мобильность и гибкость применения [5]:

- оперативное развертывание — возможность перемещения и установки в любой точке наблюдения;
- маневренность — способность облетать препятствия и получать обзор с разных ракурсов;
- адаптивность — возможность изменения высоты и угла обзора в реальном времени;
- многофункциональность — возможность установки различных датчиков и оборудования.

2. Качество мониторинга [5]:

- динамическое наблюдение — возможность отслеживания движущихся объектов;
- широкий охват — способность охватывать большие территории за короткое время;
- высокое разрешение — современные камеры обеспечивают качественную картинку в режиме реального времени.

3. Оперативность реагирования [5]:

- мгновенная оценка ситуации;
- быстрое принятие решений;
- точное позиционирование — способность быстро определить местоположение нарушителей.

4. Безопасность использования:

- дистанционное управление — минимизация риска для операторов;
- гибкая настройка маршрутов — возможность адаптации под конкретные задачи;
- автоматизация процессов — возможность программирования регулярных маршрутов патрулирования [5].

5. Экономическая эффективность:

- снижение затрат на монтаж и обслуживание по сравнению со стационарными камерами;
- оптимизация ресурсов — один FPV-дрон может заменить несколько стационарных камер;
- гибкое использование — возможность перераспределения ресурсов в зависимости от потребностей.

С помощью дрона можно обнаружить широкий спектр потенциальных угроз и нештатных ситуаций на железнодорожном полотне и прилегающей территории (табл. 1).

Основная идея проекта

Предлагаемая система обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте представляет собой комплексный подход к защите инфраструктуры, основанный на интеграции современных технологий беспилотной авиации и искусственного интеллекта (рис. 3). В ее основе лежит непрерывная передача видеопотока с FPV-дронов в режиме реального времени на удаленный сервер, оснащенный передовыми ИИ-технологиями. Работа системы строится на постоянном патрулировании территории дронами, которые в режиме реального времени транслируют видео на центральный сервер. Здесь специальные алгоритмы искусственного

Таблица 1. Потенциальные угрозы на железной дороге

Состояние путевой инфраструктуры	Внешние угрозы	Энерго-инфраструктура	Состояние искусственных сооружений	Прочее
<ul style="list-style-type: none"> – боковой выброс пути и его деформация; – оползни и смещения грунта в выемках; – сдвиги рельсовых стыков; – деформации шпал и креплений; – нарушения геометрии стрелочных переводов; – подтопления, размывы 	<ul style="list-style-type: none"> – животные на путях; – нарушители правил безопасности; – лица в бедственном или неадекватном состоянии; – следы диверсий; – подозрительные предметы 	<ul style="list-style-type: none"> – обрывы контактной сети; – повреждения опор; – механические повреждения проводов; – падение деревьев на линии электроподач 	<ul style="list-style-type: none"> – дефекты мостовых конструкций; – повреждения путепроводов; – разрушения тоннельных входов; – деформации подпорных стенок; – дефекты водоотводных сооружений; – повреждения защитных сооружений 	<ul style="list-style-type: none"> – саморасцепившийся подвижной состав; – автомобиль на железнодорожном переезде; – обвалы в горной местности; – деревья, угрожающие падением на пути

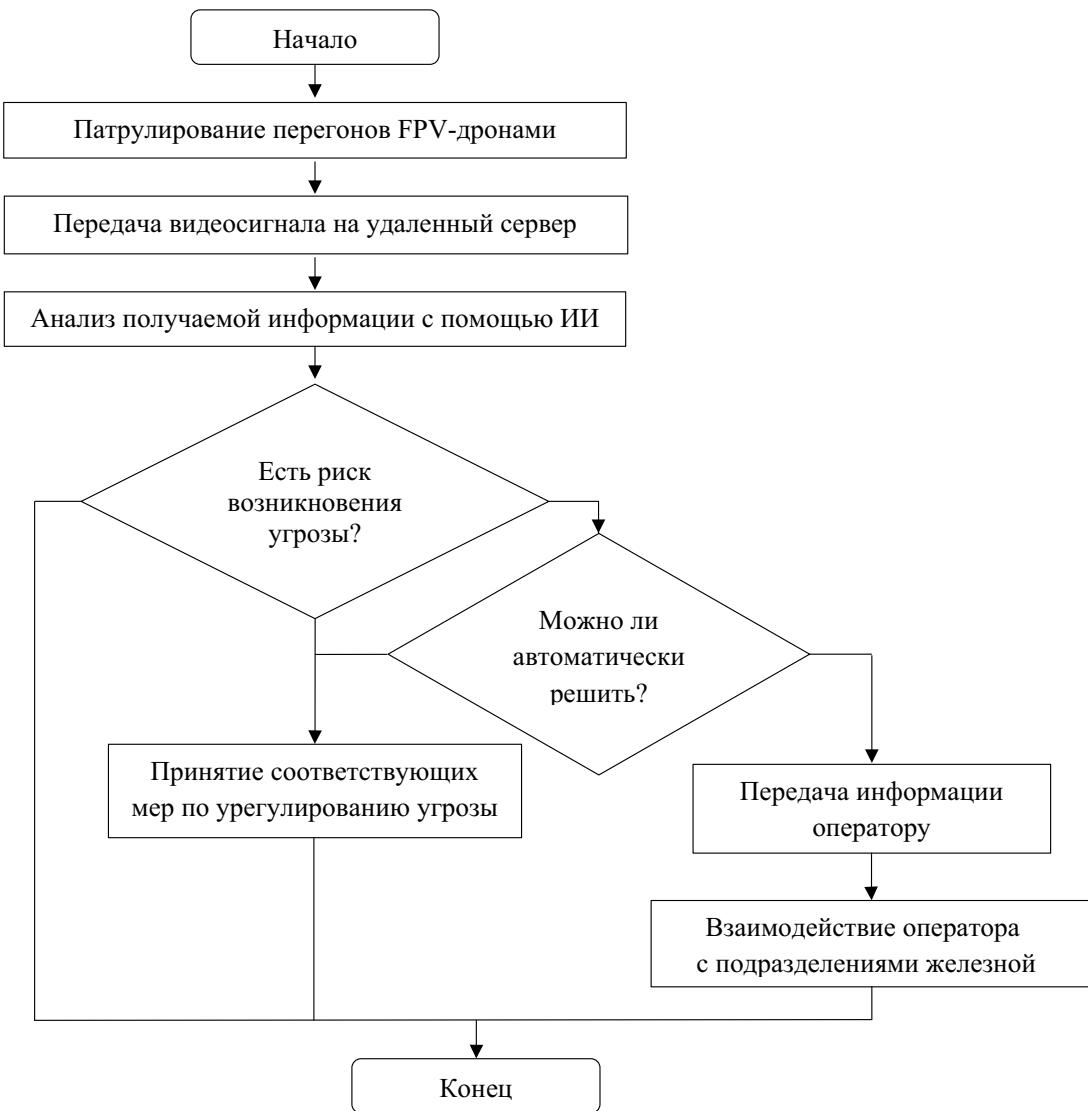


Рис. 3. Алгоритм работы системы безопасности с применением FPV-дронов (выполнено авторами)

интеллекта анализируют получаемую информацию, распознают потенциальные угрозы и автоматически классифицируют их по степени опасности. ИИ-система использует комплекс современных технологий, включая машинное обучение для распознавания образов, нейронные сети для анализа видеопотока, алгоритмы классификации для определения типа угрозы и системы прогнозирования развития событий. Функционал системы включает автоматическое обнаружение посторонних объектов и лиц, распознавание технических неисправностей, мониторинг состояния инфраструктуры и искусственных сооружений и прогнозирование развития внештатных ситуаций. При выявлении угрозы система может автоматически оповещать ответственных лиц, запускать протоколы безопасности, блокировать движение при необходимости, направлять дополнительные дроны для детального осмотра и координировать действия служб безопасности [7–9].

На первом этапе внедрения технологии патрулирования железной дороги наиболее рациональным является использование FPV-дронов с пилотируемым управлением. Такой подход позволит отработать все технологические процессы без применения сложных систем искусственного интеллекта. Важным аспектом является то, что оператор может мгновенно принимать решения на основе получаемой картинки, корректировать маршрут и фокусироваться на проблемных зонах. При этом не требуется сложных алгоритмов обработки данных и машинного обучения.

На следующем этапе, после отработки всех процессов и накопления достаточного опыта, можно будет внедрять элементы искусственного интеллекта для автоматизации рутинных операций и повышения эффективности системы. Это позволит постепенно перейти к более сложным технологиям, сохранив при этом надежность и безопасность работы. Такое поэтапное вне-

дрение обеспечит плавный переход к современным технологиям мониторинга с минимальными рисками и затратами.

Для эффективной эксплуатации системы предлагается возложить обязанности на специализированное подразделение. К примеру, можно создать центр компетенций по БПЛА в составе Центральной дирекции инфраструктуры (ЦДИ). Данный вариант является наиболее подходящим, так как сосредотачивает мониторинг железнодорожной инфраструктуры в едином подразделении, отвечающем за состояние путевого хозяйства и искусственных сооружений.

Концепция использования FPV-дронов для патрулирования железнодорожных путей

Ниже представлена сравнительная характеристика FPV-дронов для патрулирования железнодорожных путей, выполненной авторами (табл. 2).

При изучении существующих моделей FPV-дронов, потенциально способных на выполнение задач в ходе предлагаемого проекта, выбор пал на дрон российского производства ZALA 421-16E5G. Ключевыми преимуществами данной модели являются: дальность действия (до 200 км), максимальная скорость 90 км/ч, длительное время полета (до 8 часов), достигающееся за счет использования аккумуляторов увеличенной емкости, и небольшая цена относительно дрона JOUAV-CW-30E. Кроме того, этот дрон возможно оснастить системами автоматического взлета, следования по заданному маршруту, возвращения и посадки, что, очевидно, снизит трудовые ресурсы со стороны персонала, обслуживающего предлагаемую систему [10].

Базовые пункты управления будут располагаться на участковых станциях. Обслуживание дронов и предполетную подготовку целесообразно выполнять на участковых станциях, и лишь

Таблица 2. Сравнительная таблица характеристик FPV-дронов для мониторинга железнодорожной инфраструктуры

Параметр	JOUAV-CW-30E	ZALA 421-16E5G	Wingtra One GEN II
Тип конструкции	Винтокрыл	Самолетный тип	Самолетный тип
Взлет/посадка	Вертикальный	Вертикальный	Вертикальный
Продолжительность полета	6 ч	8 ч	1 ч
Дальность полета	150 км	200 км	60 км
Максимальный взлетный вес	30 кг	10,5 кг	3,3 кг
Устойчивость к ветру	20 м/с	20 м/с	12 м/с
Темп. диапазон	От -35 до 50 °C	От -30 до 40 °C	От 0 до 40 °C
Стоимость	10 млн руб.	6 млн руб.	4 млн руб.

в исключительных случаях, когда протяженность существующего участка превышает полетный ресурс дрона, следует вводить новое разделение для участков облета дронов. В каждом пункте будет размещаться необходимое оборудование: сам дрон, комплект запасных батарей, зарядные устройства и пост управления. Такая структура позволит обеспечить непрерывный мониторинг всей железнодорожной инфраструктуры. Кроме того, благодаря возможности автономной работы аппарат может выполнять поставленные задачи без постоянного контроля оператора, а в случае возникновения угрозы переходить в режим ручного управления [10].

Рабочий цикл дрона будет организован следующим образом. После подготовки к вылету, включающей проверку технического состояния и установку свежей батареи, аппарат автоматически взлетает и следует по заданному маршруту. В процессе полета происходит сбор и передача данных на наземный пункт управления. По завершении миссии дрон автоматически возвращается на базовый пункт управления. Система зарядки и обслуживания построена по принципу многокомплектности: пока один дрон находится в полете, происходит параллельная зарядка нескольких резервных батарей. Предусмотрена автоматизированная система замены аккумуляторов и наличие резервных комплектов на случай непредвиденных ситуаций. На каждом базовом пункте управления создается полноцен-

ная инфраструктура: устанавливаются системы навигации и позиционирования, организуются каналы связи для передачи данных, монтируется серверное оборудование. Персонал осуществляет контроль работы системы и техническое обслуживание. Кроме того, передача видеосигнала с дрона возможна и в кабину машиниста. Для ночного режима наблюдения необходимо оснащение дронов тепловизорами. Кроме того, тоннели и территорию под мостами и путепроводами дроны никак не смогут патрулировать, поэтому там необходимо будет установить стационарные камеры, которые так же, как и FPV-дроны, будут передавать изображение на тот же удаленный сервер, оснащенный ИИ.

Для предотвращения столкновений с объектами в воздухе и падений все аппараты в обязательном порядке должны будут быть оснащены системами обнаружения и избегания препятствий, включающими оптические и ультразвуковые датчики. Также можно предусмотреть парашютные системы в случае потери управляемости. Вопрос защиты частной жизни граждан решается путем автоматического размыкания участков видео, попадающих в частные владения. Данный режим можно реализовать с помощью искусственного интеллекта. Весь видеопоток с дрона на сервер будет передаваться в зашифрованном виде, а доступ к архивам будет строго ограничен.

Для визуального обозначения FPV-дронов в целях безопасной эксплуатации и идентифи-

кации предлагается на каждом аппарате нанести четкую и хорошо читаемую маркировку с логотипом ОАО «РЖД» и уникальным регистрационным номером, внесенным в государственный реестр. Также необходимо обязательное оснащение яркими несъемными огнями, что позволяет визуально идентифицировать аппарат. Немаловажной является часть широкой разъяснительной работы, цель которой будет заключаться в информировании сотрудников и населения близлежащих районов о полетах.

Экономическая эффективность проекта обеспечивается длительным временем автономной работы дронов и минимальным обслуживанием в процессе эксплуатации. Предупреждение возникновений чрезвычайных ситуаций позволяет устраниить их на начальной стадии, благодаря чему получается избежать многократно более высоких затрат на ликвидацию последствий, простоев движения, экологические штрафы и страховые выплаты пострадавшим. Кроме того, при одновременном повышении уровня безопасности пассажирских и грузовых перевозок по железной дороге существенно снижаются затраты на персонал.

Варианты патрулирования

Для детального обзора оптимальная высота составит $h = 500$ м, а скорость — $v = 60$ км/ч = 1000 м/мин. При горизонтальном угле обзора камеры $\alpha = 79^\circ$ радиус обзора составит $R = h \operatorname{tg} \alpha = 2500$ м, а в обе стороны — $2R = 5000$ м. Далее рассмотрим несколько вариантов исполнения предлагаемой технологии.

В максимальном варианте предлагаемой технологии выдвигается идея абсолютно полного непрерывного мониторинга всей железнодорожной инфраструктуры. Планируется запускать дроны в обе стороны на расстоянии их обзора, то есть на дистанцию $2R$. Тогда для покрытия одной стороны потребуется следующее количество дронов:

$$n = \frac{L}{2R}, \quad (1)$$

где L — длина рассматриваемого участка.

Временной интервал попутного следования дронов составит:

$$t = \frac{2R}{v}, \quad (2)$$

где $v = 1000$ м/мин — скорость движения дронов.

Рассмотрим участок от станции А до станции Б, длина которого $L = 200$ км. Тогда в одну сторону потребуется дронов $n = 40$ шт., двигаться они будут с интервалом $t = 5$ мин. Экипировка дронов (осмотр и замена аккумуляторов) в среднем занимает 10 минут. На станциях А и Б организовано по три пункта обслуживания дронов. На представленном графике движения дронов (рис. 4) показано полтора цикла полета дронов (полет от станции А (Б) до станции Б (А) и обратно; экипировка; полет от станции А (Б) до станции Б (А)).

На полученном графике видно, что участок от станции А до станции Б непрерывно патрулируется, слепых зон нет. Однако из-за экипировки дронов их график движения смещается на 10 мин, из-за чего возникают промежутки, во время которых железнодорожная инфраструктура остается без наблюдения. Во избежание данной проблемы необходимо вводить дополнительные два дрона с каждой стороны, в таком случае участок А — Б будет под патрулированием в течение всего времени.

Таким образом, при осуществлении максимального варианта предлагаемой технологии потребуется 84 дрона, столько же операторов, по 3 пункта обслуживания дронов на каждой станции. Однако если использовать автономный режим работы дронов, то количество операторов существенно снизится и останется лишь достаточный для перехода в ручной режим управления в случае возникновения опасности штат [10]. Тем не менее максимальный вариант предлагаемой технологии чрезвычайно дорог со стороны

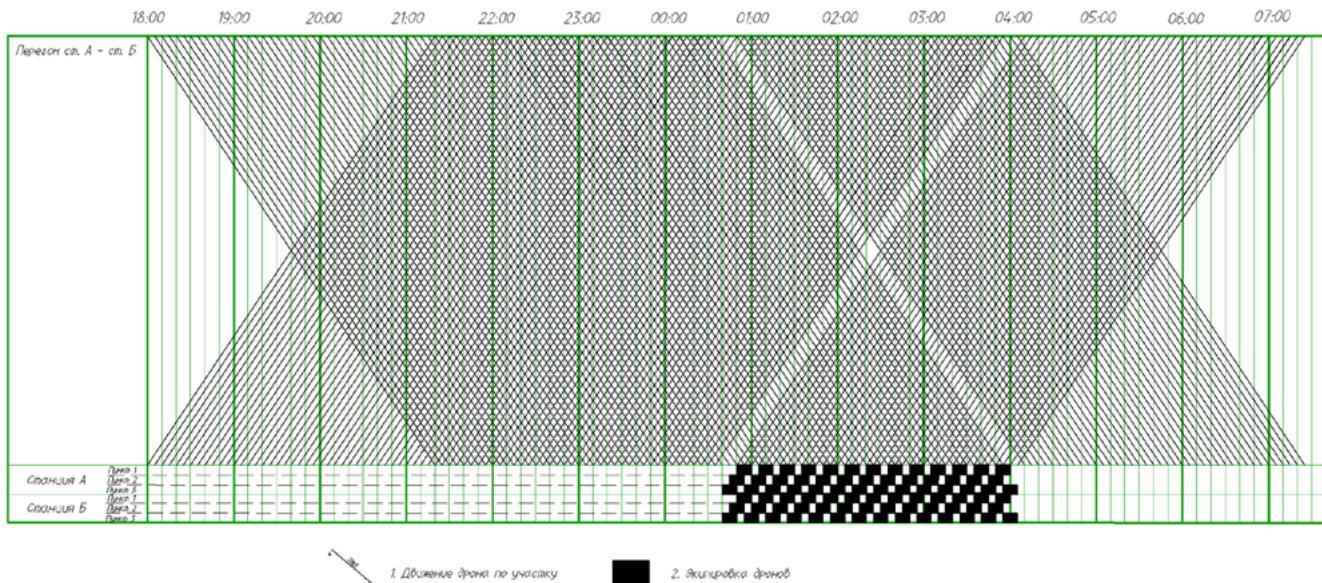


Рис. 4. График движения дронов при максимальной загрузке (выполнено авторами)

материальных и трудовых ресурсов и может быть уместен лишь в крайних случаях.

Теперь рассмотрим более реалистичный и экономически выгодный вариант предлагаемой технологии. Он заключается в интеграции графика движения дронов в систему поездной работы. Предполагается, что дрон, сканируя железнодорожное полотно и прилегающую территорию с помощью различных датчиков, будет двигаться впереди поезда на расстоянии, достаточном для того, чтобы поезд в случае возникновения опасности прибегнул к экстренному торможению и остановился. Ключевыми элементами успешной интеграции станут автоматизированный расчет безопасных интервалов между дронами и поездами, система раннего предупреждения о возможных конфликтах между дронами. Процесс внедрения данного варианта необходимо начать с пилотного проекта на отдельном участке железной дороги, где можно будет в реальных условиях проверить работоспособность системы и внести необходимые корректировки перед ее распространением на более обширные территории.

Рассмотрим участок А — З с двухпутным движением и участки З — ЗСС и ЗСС — Р

с однопутным движением. Для наглядности предлагаемого проекта для этих двух участков были составлены фрагменты графиков движения дронов с наложением на графики движения поездов (рис. 5, 6). Для снижения визуальной нагрузки время отправления и прибытия дронов не указано, но предполагается, что дроны будут вылетать за 5 минут до отправления поезда и двигаться со скоростью, равной скорости движения поезда. Тогда между поездом и дроном будет расстояние 2–3 км, что является достаточным для совершения экстренного торможения в случае возникновения опасности. Кроме того, дроны будут закреплены за локомотивами, тем самым полностью повторяя их маршрут. Такой вариант позволяет четко определять потребное количество дронов для обеспечения безопасности на выбранном участке (оно будет равно количеству локомотивов) и избавиться от излишнего патрулирования, когда фактического движения поездов на перегоне в данное время нет. В случае пакетного движения поездов возможно сокращение количества дронов до одного, летящего перед первым поездом.

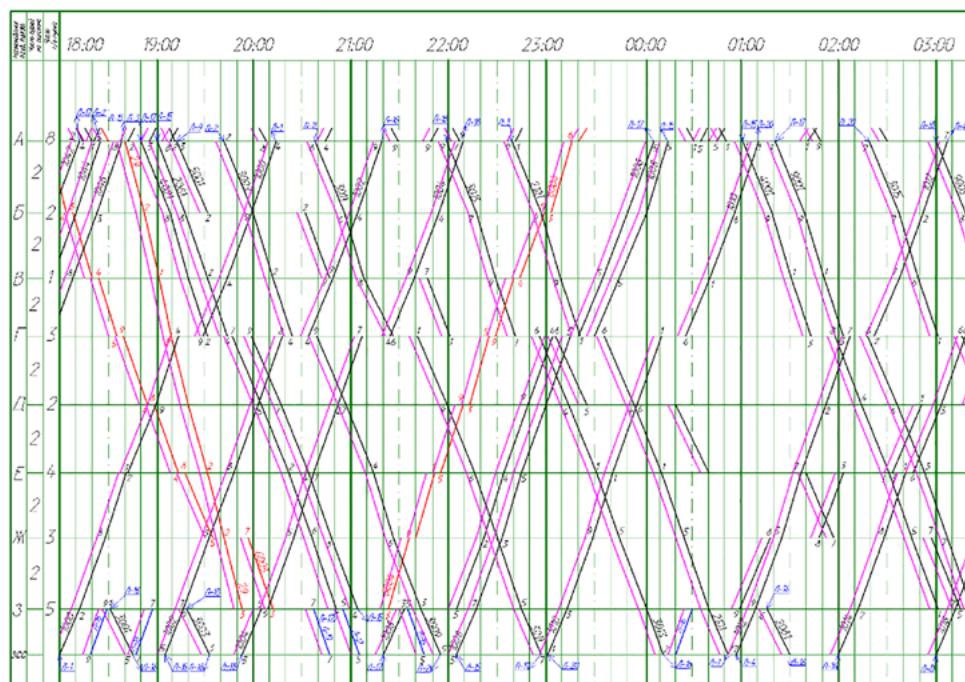


Рис. 5. Фрагмент графика движения поездов и дронов на участке А — 3 и 3 — 3СС (выполнено авторами)

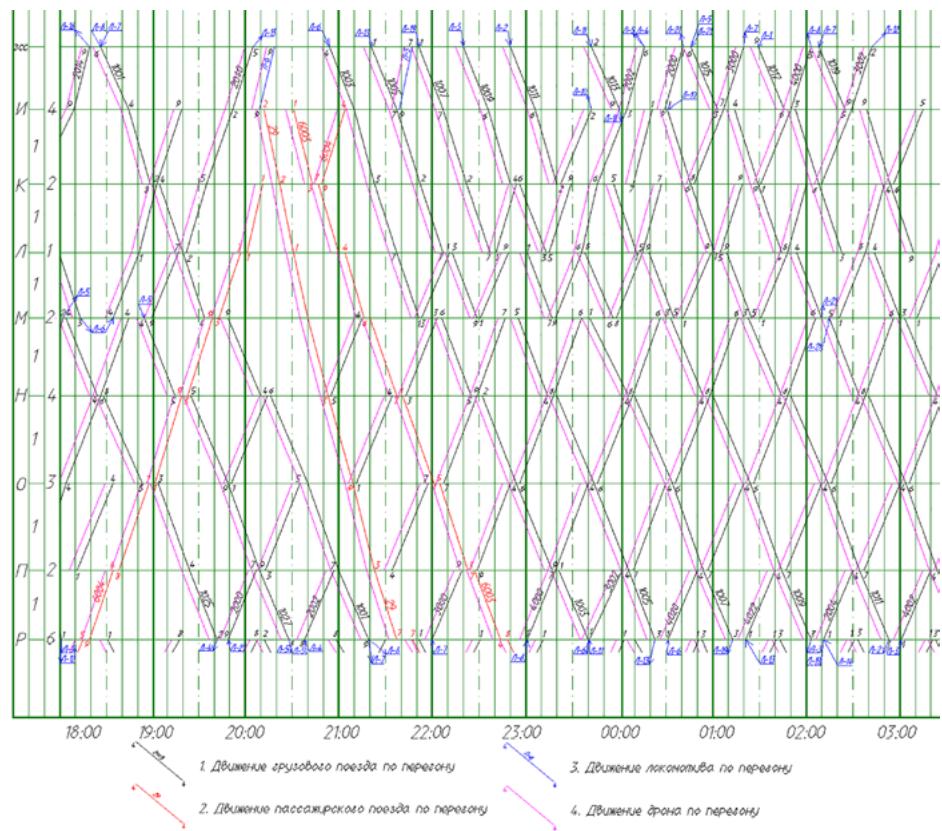


Рис. 6. Фрагмент графика движения поездов и дронов на участке 3СС — Р (выполнено авторами)

Заключение

Представленный проект создания системы безопасности железнодорожных участков с использованием дронов ZALA 421-16E5G демонстрирует высокую эффективность и перспективность внедрения. Разработанное решение позволяет обеспечить непрерывный контроль состояния не только перегонов между станциями, но и остальной железнодорожной инфраструктуры на протяженных участках (до 200 км) с минимальными затратами человеческих ресурсов.

Ключевым преимуществом проекта является комплексный подход к организации мониторинга, который включает:

- автоматизацию процессов;
- использование современных технологий;
- создание эффективной инфраструктуры обслуживания.

Дроны с длительным временем полета способны охватывать значительные территории, своевременно выявляя потенциальные угрозы и обеспечивая оперативное реагирование на них. Предусмотрено несколько вариантов патрулирования.

Внедрение данной системы позволит достичь следующих важных результатов:

- существенное повышение уровня безопасности железнодорожных перевозок;
- сокращение времени реагирования на возникающие угрозы;
- повышение качества контроля железных дорог;
- минимизация человеческого фактора в процессе мониторинга.

Таким образом, проект создания системы безопасности железнодорожных участков на базе дронов ZALA 421-16E5G является актуальным, технически обоснованным и экономически целесообразным. Его реализация позволит значительно повысить качество контроля и обеспечить безопасность железнодорожных перевозок на современном уровне.

Список источников

1. Зинин М. С. Безопасность пассажиров на железнодорожном транспорте / М. С. Зинин // Наука и практика в медицине: сборник материалов VI Всероссийского образовательного форума (Благовещенск, 24–26 апреля 2024 года). — Благовещенск: Амурская государственная медицинская академия, 2024. — С. 166–169.
2. Галицкий В. П. Криминальная проницаемость государственной границы и территории в механизме гибридной войны Запада и России. Проблемы противодействия / В. П. Галицкий, М. П. Киреев, Н. Д. Литвинов, Д. А. Родионов // Юридическая наука: история и современность. — 2023. — № 1. — С. 52–87. —
3. Железнодорожный транспорт: энциклопедия / гл. ред. Н. С. Конарев. — М.: Большая российская энциклопедия, 1994. — 559 с.
4. Иванов А. Л. FPV-дроны / А. Л. Иванов, В. Ю. Морозов, А. А. Соловьев, Р. Ю. Сухарев // Флагман науки. — 2024. — № 10(21). — С. 256–258. — DOI: 10.37539/2949-1991.2024.21.10.003.
5. Несмиянова И. О. Возможности применения FPV-дронов в деятельности органов внутренних дел Российской Федерации / И. О. Несмиянова, Д. С. Гольцов // Судебная экспертиза и исследования. — 2024. — № 1. — С. 40–43.
6. Ивашевский М. Р. Системы видеонаблюдения на железнодорожном транспорте / М. Р. Ивашевский // Мир транспорта. — 2019. — Т. 17. — № 5(84). — С. 298–314. — DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-5-298-314. — EDN NSTKCT.
7. Офицеров А. И. Использование искусственного интеллекта в системах обеспечения комплексной безопасности охраняемого объекта / А. И. Офицеров, Д. А. Сафонов // Экономика. Информатика. — 2023. — Т. 50. — № 1. — С. 203–210. — DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-1-203-210.
8. Медведев Д. А. Особенности применения видеокамер с искусственным интеллектом / Д. А. Медведев, К. В. Трифонова // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 8-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых:

в 4 т. (Курск, 20–21 марта 2025 года). — Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. — С. 185–187.

9. Калинкин В. С. Искусственный интеллект и стратегическое принятие решений / В. С. Калинкин, В. Б. Литовченко // Молодежь и XXI век — 2025: сборник научных статей 14-й Международной молодежной научной конференции: в 5 т. (Курск, 20–21 февраля 2025 года). — Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. — С. 190–194.

10. Самосватов В. Д. Контроль текущего состояния железнодорожных путей и перспективы развития методов выявления дефектов / В. Д. Самосватов, Р. Х. Альмухаметов // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Оренбург, 21–22 апреля 2022 года) / Самарский государственный университет путей сообщения, Оренбургский институт путей сооб-

щения. — Оренбург: Оренбургский институт путей сообщения — филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения», 2022. — С. 143–145.

Дата поступления: 20.09.2025

Решение о публикации: 23.10.2025

Контактная информация:

ПОПОВ Алексей Тимофеевич — канд. техн. наук, доц.; a.t.popov1955@gmail.com

СУСЛОВА Ольга Анатольевна — канд. техн. наук, доц.; suslova_2003@mail.ru

ЧЕХОВ Матвей Александрович — студент; matv.cheh@yandex.ru

МАЛАХОВ Алексей Иванович — канд. техн. наук, доц.; op.lipetsk@gmail.com

Integrated Railway Safety System Using FPV Drones

A. T. Popov, O. A. Suslova, M. A. Chekhov, A. I. Malakhov

Lipetsk State Technical University, 30, Moskovskaya str., Lipetsk, 398055, Russian Federation

For citation: Popov A. T., Suslova O. A., Chekhov M. A., Malakhov A. I. Integrated Railway Safety System using FPV Drones // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 4, pp. 1106–1118. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-4-1106-1118

Summary

Purpose: To create a robust security management system for railway transport infrastructure, facilitating continuous surveillance over extensive railway stretches. **Methods:** The use of innovative unmanned technologies, such as automated flight control and data processing systems. The proposed concept involves segmenting the railway network into sections measuring 100–200 kilometers, with the establishment of central control points at various stations. The video feed from FPV drones will be sent to a distant artificial intelligence server, which will assess the threat level of any incidents that are detected. Based upon this assessment, the AI will either make autonomous decisions or generate a list of recommendations to be transmitted to railway personnel. This paper outlines the phases for implementing the proposed technology, outlines an operational algorithm for the security system using FPV drones, and explores various patrol strategies, each specifying the drones' movement patterns. The regulatory framework, potential risks, economic feasibility and methods for identifying UAVs by both the public and railway personnel have been comprehensively addressed. **The scientific novelty:** The integration of contemporary unmanned technologies into existing railway transport infrastructure, enabling the establishment of an effective and economically viable security system is of key importance.

The proposed system can serve as a foundation for further development of UAV-based technologies for monitoring the condition of railway tracks. **Results:** Implementation of this system is expected to substantially enhance railway safety, reduce response times to emerging threats, improve the quality of operational oversight, and minimize the impact of the human factors on monitoring processes. **Practical significance:** The implementation of a security system using FPV drones in railway transport holds significant practical importance. It is particularly relevant in areas with heightened terrorist threats, in inaccessible locations, during emergencies for search and rescue operations and for evaluating the aftermath of accidents or disasters. Furthermore, it is beneficial for the real-time monitoring of track repair activities.

Keywords: Safety in railway transport, border regions, emergencies in railway transport, terrorism, FPV drone, artificial intelligence, automatic decision-making, drone autonomous operation system, drone duty cycle, multicompexity, patrol strategies.

References

1. Zinin M. S. Bezopasnost' passazhirov na zhelezodorozhnom transporte [Passenger safety in railway transport]. *Nauka i praktika v meditsine: sbornik materialov VI Vserossiyskogo obrazovatel'nogo foruma (Blagoveshchensk, 24–26 aprelya 2024 goda)* [Science and practice in medicine: collection of materials of the VI All-Russian educational forum] (Blagoveshchensk, April 24–26, 2024). Blagoveshchensk: Amurskaya gosudarstvennaya meditsinskaya akademiya Publ., 2024, pp. 166–169. (In Russian)
2. Galitskiy V. P., Kireev M. P., Litvinov N. D., Rodionov D. A. Kriminal'naya pronitsaemost' gosudarstvennoy granitsy i territorii v mekhanizme gibrnidnoy voyny Zapada i Rossii. Problemy protivodeystviya [Criminal permeability of the state border and territory in the mechanism of hybrid war between the West and Russia. Problems of counteraction]. *Yuridicheskaya nauka: istoriya i sovremenost'* [Legal science: history and modernity]. 2023, Iss. 1, pp. 52–87. (In Russian)
3. Zhelezodorozhnyy transport: entsiklopediya [Railway transport: encyclopedia]. Ed. by N. S. Konarev. Moscow: Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya Publ., 1994, 559 p. (In Russian)
4. Ivanov A. L., Morozov V. Yu., Solov'ev A. A., Sukharev R. Yu. FPV-drony [FPV drones]. *Flagman nauki* [Flagship of science]. 2024, Iss. 10(21), pp. 256–258. DOI: 10.37539/2949-1991.2024.21.10.003. (In Russian)
5. Nesmiyanova I. O., Gol'tsev D. S. Vozmozhnosti primeneniya FPV dronov v deyatel'nosti organov vnutrennikh del Rossийskoy Federatsii [Possibilities of using FPV
6. Ivashevskiy M. R. Sistemy videonablyudeniya na zhelezodorozhnom transporte [Video surveillance systems in railway transport]. *Mir transporta* [World of transport]. 2019, vol. 17, Iss. 5(84), pp. 298–314. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-5-298-314. (In Russian)
7. Ofitserov A. I., Safonov D. A. Ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta v sistemakh obespecheniya kompleksnoy bezopasnosti okhranyaemogo ob'ekta [Using artificial intelligence in systems for ensuring integrated security of a protected object]. *Ekonomika. Informatika* [Economics. Informatics]. 2023, vol. 50, Iss. 1, pp. 203–210. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-1-203-210. (In Russian)
8. Medvedev D. A., Trifonova K. V. Osobennosti primeneniya videokamer s iskusstvennym intellektom [Features of using video cameras with artificial intelligence]. *Molodezh'i nauka: shag k uspeku: sbornik nauchnykh statey 8-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh: v 4 t. (Kursk, 20–21 marta 2025 goda)* [Youth and science: a step towards success: collection of scientific articles of the 8th All-Russian scientific conference of promising developments by young scientists (Kursk, March 20–21, 2025): in 4 vols]. Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga" Publ., 2025, pp. 185–187. (In Russian)
9. Kalinkin V. S., Litovchenko V. B. Iskusstvennyy intellekt i strategicheskoe prinyatie resheniy [Artificial intelligence and strategic decision-making]. *Molodezh' i XXI*

vek – 2025: sbornik nauchnykh statey 14-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii: v 5 t. (Kursk, 20–21 fevralya 2025 goda) [Youth and the 21st century – 2025: collection of scientific articles of the 14th International youth scientific conference (Kursk, February 20–21, 2025): in 5 vols]. Kursk: ZAO “Universitetskaya kniga” Publ., 2025, pp. 190–194. (In Russian)

10. Samosvatov V. D., Al'mukhametov R. Kh. Kontrol' tekushchego sostoyaniya zheleznodorozhnykh putey i perspektivy razvitiya metodov vyayavleniya defektov [Monitoring the current state of railway tracks and prospects for developing methods of detecting defects]. *Molodezhnaya nauka v XXI veke: traditsii, innovatsii, vektorы razvitiya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-issledovatel'skoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov (Orenburg, 21–22 aprelya 2022 goda)* [Youth science in the 21st century: traditions, innovations, development vectors: materials of the international research conference of young scientists, postgraduates and students (Orenburg, April 21–22, 2022)]. Samarskiy

gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, Orenburgskiy institut putey soobshcheniya. Orenburg: Orenburgskiy institut putey soobshcheniya — filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya “Samarskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya” Publ., 2022, pp. 143–145. (In Russian)

Received: September 20, 2025

Accepted: October 23, 2025

Author's information:

Alexey T. POPOV — PhD in Engineering,
Associate Professor; a.t.popov1955@gmail.com

Olga A. SUSLOVA — PhD in Engineering,
Associate Professor; suslova_2003@mail.ru
Matvey A. CHEKHOV — Student; matv.cheh@yandex.ru
Alexey I. MALAKHOV — PhD in Engineering,
Associate Professor; op.lipetsk@gmail.com