

УДК: 338.32; 347.763.4

О некоторых актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС» июнь-декабрь 2023 г.

Some current tasks and directions of scientific and technological development of JSC «NIIAS» June-December 2023

Бочков А.В., д.т.н., учёный секретарь, АО «НИИАС»,

E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Москва, Россия

Bochkov A.V., Doc. of Sci.(Tech), Scientific Secretary, «NIIAS» JSC,

E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Moscow, Russia

Аннотация



В обзоре обобщены вопросы, рассмотренные на заседаниях профильных секций научно-технического совета АО «НИИАС» во втором полугодии 2023 года. Проанализированы существующие проблемы и предложена постановка задач будущих исследований в ключевых направлениях научно-технологического развития института. Основное внимание уделено применению беспилотных технологий и систем технического зрения на железнодорожном транспорте, автоматизации роспуска опасных грузов на сортировочных горках, оборудованных КСАУ СП. Приведены общие сведения о подходах выполнения Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования». Обсуждены научные основы и реализация риск-ориентированного подхода в обосновании безопасности. Обсуждена концепция централизованного репозитория исходного кода АО «НИИАС». Уделено внимание применению мехатронных и робототехнических систем при диагностике подвижного состава и применение широкополосных сетей связи на базе технологии LTE на железнодорожном транспорте в рамках придания стандарту LTE статуса железнодорожной электросвязи. Рассмотрены задачи высокоточного позиционирования в задачах беспилотного управления подвижным составом. Материалы некоторых обсуждений представлены в настоящем обзоре.

Ключевые слова: беспилотные технологии, системы технического зрения, автоматизация роспуска, безопасная разработка программного обеспечения, защита информации, риск-ориентированный подход, безопасность, мехатронные и роботизированные системы диагностики, стандарты железнодорожной электросвязи, высокоточное позиционирование.

Abstract

The report outlines the topics deliberated upon during meetings held by the specialized sections of the Scientific and Technical Council of JSC NIIAS in the latter half of 2023. The existing challenges have been evaluated, and objectives for future research have been suggested in essential fields of scientific and technological advancement of the institute. The focus is on utilising unmanned technologies and vision systems in railway transport, automating the release of hazardous materials on marshalling humps equipped with KSAU SP. The document covers the approach to implementing the Plan for the Implementation of Measures for the Safe Development of Software for Russian Railways Systems according to GOST R 56939-2016 "Information Security. Secure software development. General Requirements". The discussion encompassed the scientific basis and implementation of a safety justification approach centered on managing risks. Additionally, the idea of establishing a centralised repository for source code at NIIAS JSC was presented. The focus was on the integration of mechatronic and robotic systems in the diagnostics of rolling stock, and the usage of broadband communication networks, based on LTE technology, within the scope of the LTE railway telecommunications status. High-precision positioning issues for unmanned rolling stock control tasks are examined. Some of the discussions are presented in this review.

Keywords: unmanned technologies, vision systems, dissolution automation, secure software development, information security, risk-based approach, security, mechatronic and robotic diagnostic systems, railway telecommunication standards, high-precision positioning.



1. Применение беспилотных технологий и технического зрения на железнодорожном транспорте

Авторы: Дейлид И.А., Ольгейзер И.А., Стадник А.В., Гуров Ю.В., Лелюхин Д., Раков Д.А., Хилков Д.В., Яковлев А.Н., Панов К.В., Баталев И.А. Шульженко А.А., Фуярчука К.Г., Суханов Р.А., Лысенко П.В., Раков Д.А., Минкин Ю.И., Лукин В.А., Копылов С.А., Королев И.Н., Чеботарев Е.С., Киселев П.А., Автаев Д.И., Бураков Д. По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 29-30.06.2023, Секция 3. Беспилотное управление подвижным составом (Попов П.А., Чернин М.А.) совместно с Секция 4. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс) (Хатламаджиян А. Е., Соколов С.В.).

На сегодня системы технического зрения (СТЗ), а также искусственные сенсорные системы представления визуальной информации считаются наиболее перспективными средствами представления первичной информации в системах безопасности, повышают безопасность и прогнозируемость технологических процессов [1]. Безопасность в широком смысле является неформализуемой категорией, поэтому, подчиняясь, известным принципам неполноты, сформулировать полные и одновременно корректные единые критерии безопасности принципиально невозможно для любых предметных областей [2].

Моделируя иммунологические механизмы можно интегрировать их в инженерные приложения, тем самым выйти на новые уровни обеспечения безопасности. Таким образом, предлагается применение технологий ИИ на основе теории искусственных иммунных систем (ИИМС).

Для достижения продуктовой стадии БОПМЛ потребовалось пройти через череду технических неудач, инновационных идей и универсальных решений. Команда Санкт-Петербургского филиала тщательно разобрала каждый месяц эволюции продукта, начиная с зарождения идеи дистанционного управления локомотивами на ст. Лужская. С каждым годом процессы разработки улучшались, развивалась культура системной инженерии и тестирования. Теперь перед командой Санкт-Петербургского филиала с сертифицированным БОПМЛ стоят новые вызовы – внедрение подсистемы для обеспечения функциональной безопасности и сертификация по стандарту TP TC.

Техническое зрение также играет ключевую роль в развитии автоматизированных систем на РЖД. Система ППСС следит за техническими и коммерческими неисправностями вагонов и имеет в своем составе такие подсистемы как: определение номера и типа вагона, диагностика фрикционного клина, колодки и подвагонного пространства, контроль за знаками опасностями и трафаретными надписями. Каждая из этих подсистем использует современные разработки в области технического зрения. Решаются задачи по локализации объекта, поиску аномалий, рассчитываются расстояния. Система успешно выполняет свои задачи, что ведет к повышению уровня безопасности на железнодорожном транспорте.

Для решения задачи диагностики буксовых узлов была разработана система ПАК-М, включающая в себе комбинацию традиционных математических алгоритмов обработки сигналов и моделей глубокого обучения.

Аппаратная часть системы соответствует импортозамещению, все оборудование состоит из отечественных комплектующих. Система успешно диагностирует дефекты в буксовых узлах железнодорожных составов, повы-

шая тем самым уровень безопасности на железнодорожном транспорте.

Ключевым элементом автоматизации на МЦК является БОП, который должен обеспечивать качество обнаружения препятствий и опасных событий на пути следования не хуже машиниста и в некоторых случаях превосходить его, только так можно будет повысить безопасность движения составов и пассажиров по МЦК.

Таким образом в рамках проекта БОП решается множество задач по обнаружению различных препятствий от человека с лошадью до мелких светофоров и башмаков на пути следования состава. Для этого применяются различные подходы компьютерного зрения, как классические, так и машинное обучение. Также необходимо объединять подходы чтобы достичь качественного обнаружения, так, например, используя нейронные сети для определения глубины и UV Disparity вместе с расчетом нормалей можно точнее обнаруживать малые и не классифицируемые объекты.

Немаловажным будет отметить калибровочные параметры и их динамическую подстройку исходя из окружения, что позволяет точнее определять дистанцию и корректировать ошибки в расчетах. Не стоит забывать и про аппаратную часть, сенсоры и лидары на БОП установлены с различными фокусными расстояниями и углами обзора, и комбинируются так, чтобы покрывать больше дистанции видимости и тем самым улучшать стабильность и качество обнаружения уже на уровне сервисов детекции и комплексирования.

Для повышения уровня автоматизации роспуска вагонов на сортировочных станциях в связи с увеличением количества сочлененных вагонов и необходимостью определения нетиповых межвагонных расстояний АО «НИИАС» разработано устройство счета и контроля расцепа вагонов УСКР. Помимо счета осей и определения занятости участка УСКР позволяет определить расположение автосцепного устройства путем детекции непосредственно самого устройства, а также артефактов, таких как номер вагона и тележки, позволяющих косвенно подтвердить начало нового вагона в отцепе.

Техническое зрение используется не только для сортировочных горок, но и в сортировочном парке. В настоящее время получила тиражирование разработка АО «НИИАС» под названием комплекс компьютерного зрения для контроля занятости сортировочных путей (КЗСП). Одной из важных функций КЗСП, разработанной и запатентованной уже после старта тиражирования комплекса, явилась функция расчета изменений профиля сортировочных путей по изменению скорости движения >>>

вагонов по путям сортировочного парка. Это позволит заранее определять проблемные участки в сортировочном парке, сравнить текущие значения с полученными инструментальным путем и осуществит переход от планового обслуживания к обслуживанию по состоянию.

Следует отметить, что для работы блоков обнаружения препятствий требуется периодическая верификация, повторная калибровка, а также первоначальная настройка внешних калибровочных параметров. Для данных целей была разработана стационарная система калибровки сенсоров, которая позволяет проводить верификацию и изменения параметров в автоматическом режиме. Также система позволяет управлять процессом и верифицировать результаты с АРМ. Важно продолжать развивать систему посредством улучшения алгоритмов, упрощения состава стенда и тестированием системы в разных условиях и с разным набором сенсоров.

Для полной автоматизации беспилотного транспорта необходима проработка инфраструктуры стационарных комплексов в зонах ограниченной видимости, в зонах где сенсоры на борту не позволяют контролировать все с чем может взаимодействовать беспилотный транспорт (пассажиры, вагоны, перекрывающие обзор, иная инфраструктура). Также стоит уделить особое внимание взаимодействию стационарных комплексов с беспилотным транспортом, проработке инфраструктуры центров, протоколов и каналов связи между участниками автоматизированных систем. Важным моментом будет являться и мониторинг таких комплексов для повышения безопасности и быстрого реагирования в нештатных ситуациях.

Для развития процессов машинного обучения в компании рекомендуется применять практики MLOps, которые направлены на унификацию процессов разработки и развертывания систем машинного обучения, а также позволяют стандартизировать и оптимизировать непрерывную доставку новых моделей в производство.

В рамках реализации проектов БОП-МЛ и БОП МЦК команда Санкт-Петербургского филиала были разработаны эффективные алгоритмы на базе нейросетевых и классических подходов, решающие задачу обнаружения неклассифицированных препятствий. Развитие ком-

петенций и улучшение самих алгоритмов способствуют повышению безопасности работы ранее перечисленных продуктов, а также расширяют набор возможных препятствий, которые могут быть обнаружены системами без предварительного обучения нейросетевых алгоритмов работе с конкретными, заранее заданными, классами объектов [3].

Важную роль в продуктах с машинным зрением играют интерфейсы, поэтому к ним предъявляются высокие требования. При их разработке учитывается баланс между новыми требованиями и обратной связью от пользователей. Для сбора сведений о работе интерфейса происходит сбор телеметрии с помощью Prometheus и heatmap.js. Проработка UX/UI происходит посредством создания прототипов с использованием инструмента Figma.

Был рассмотрен стек используемых технологий и было рассказано о выборе инструмента для разметки изображений и использовании инструмента CVAT. При его эксплуатации были выявлены недостатки, которые были исправлены посредством клонирования репозитория проекта и внесения собственных изменений. Эти изменения не вносятся в основной репозиторий из-за их точечного характера.

Наибольшее влияние на проектирование аппаратного обеспечения систем технического зрения оказывают особенности наблюдаемой сцены: большой диапазон освещенности в одной сцене, большая требуемая дальность обнаружения и угол обзора, плохие условия видимости, мерцание светодиодных источников света (светофоров). Указанные особенности требуют использования специализированных сенсоров камер с поддержкой большого динамического диапазона (HDR 140 дБ) и технологии компенсации мерцания (LFM). Второй по влиянию является особенность объекта автоматизации. Так, оборудование, устанавливаемое на локомотив должно обладать высокой помехоустойчивостью и поддерживать высокоскоростную передачу данных на значительные расстояния (до 20 метров). Такие особенности определяют используемые интерфейсы передачи данных: высокоскоростной Ethernet и GMSL (способ передачи цифровых данных по коаксиальным линиям).

2. Автоматизация роспуска опасных грузов на сортировочных горках, оборудованных КСАУ СП

Авторы: **Саврухин А.В., Ефимов Р.А., Соколов В.Н., Ольгейзер И.А., Корниенко К.И., Бессоненко С.А., Климов А.А.**
По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 07.06.2023. Секция 4. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс) (Хатламаджиян А. Е., Соколов С.В.)

В Университете РУТ (МИИТ), совместно с АО «НИИАС» выполнена работа по разработке методики аттестации станций с позиции безопасности при роспуске опасных грузов 2 класса опасности (далее Методики) и утверждению ее в ОАО «РЖД». В ходе данной работы, в том числе, были исследованы сортировочные горки станций Кинель, Челябинск-Главный, Екатеринбург-Сортировочный, Орехово-Зуево на возможность прохождения аттестации по утвержденной Методике. Наиболее оптимальной в части технического оснащения для прове-

дения испытаний является сортировочная горка станции Кинель, а также сортировочные горки станции Челябинск-Главный после внедрения комплекса технического зрения.

Целесообразно дальнейшее исследование вопросов роспуска вагонов, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности, с сортировочных горок в автоматизированном режиме в части снижения требований к вагонам для возможности роспуска вагонов-цистерн с поглощающим устройством автосцепки типа Т2. >>>

Существующая технология интенсивного высокопроизводительного роспуска составов на сортировочных горках предусматривает движение отцепов по незамкнутым маршрутам, в связи с чем, имеющийся уровень безопасности не позволяет производить на горках роспуск вагонов с опасными грузами.

Для повышения уровня безопасности расформирования составов на сортировочных горках необходима специальная технология, описанная в утвержденной Методике, и дополнительные технические средства для обеспечения возможности автоматического роспуска с горки вагонов, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности.

Такая технология и технические средства планируются к применению в разрабатываемом АО «НИИАС» Интегрированном комплексе автоматизации роспуска опасных грузов ИКАР ОГ.

Обеспечение безопасности роспуска вагонов, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности, должно строиться на непрерывном контроле всех параметров движения несколькими средствами контроля. Кроме того, сортировочный парк также должен быть

оборудован управляемыми домкратовидными устройствами замедления, которые на сегодняшний день находятся в разработке.

Необходимость рассмотрения возможности учета замены поглощающих аппаратов класса Т-3 на Т-2 на вагонах, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности. Необходимость проведения дополнительных исследования безопасности роспуска вагонов с поглощающими аппаратами класса Т-2.

Проведенное ФГБОУ ВО СГУПС совместно с АО «НИИАС» исследование основного удельного сопротивления движению отцепов показало, что сопротивление качению значительно снизилось за счет поступления на инфраструктуру ОАО «РЖД» инновационных вагонов, в том числе с тележками, имеющими буксовый узел с подшипниками кассетного типа, что потенциально увеличивает вероятность превышения допустимых скоростей соударения вагонов на спускной части сортировочных горок и путях сортировочных парков [4].

Необходим пересмотр существующих правил и норм проектирования сортировочных устройств, в связи с изменением вагонного парка.

3. О подходах выполнения Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования»

Авторы: **Сабанов А.Г., Иновенков В.А.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 27.06.2023. Секция 8. Информационная и кибербезопасность (Сабанов А.Г., Безродный Б.Ф.)

В рамках рассмотрения доклада «О подходах выполнения Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования»», были обсуждены четыре основных вопроса:

- уточнение понятия «Безопасное программное обеспечение для ОАО «РЖД»;
- проблемы интеграции требований ГОСТ Р 56939-2016 с существующими бизнес-процессами прохождения заявки на создание, эксплуатацию, модернизацию и вывод из эксплуатации программного обеспечения автоматизированных информационно-телекоммуникационных систем информационной инфраструктуры ОАО «РЖД» в защищенном исполнении;
- обсуждение принципов определения критериев внедрения мер безопасной разработки программного обеспечения;
- формулирование актуальных задач по внедрению мер безопасной разработки программного обеспечения в рамках системы добровольной сертификации.

Отмечено, что несмотря на сложность рассматриваемых проблем начинать приходится не с нулевой отметки, что показал опрос разработчиков Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС», где уже введена организацион-

но-распорядительная документация по безопасной разработке и используются ряд инструментов автоматизированного тестирования программного обеспечения.

В рамках обсуждения доклада «О создании доверенного репозитория исходных кодов и ПО АО «НИИАС»» предложена концепция автоматизации процесса сборки протестированных компонентов программного обеспечения и их хранения в защищенном репозитории.

В ходе обсуждения докладов выступающими были высказаны точки зрения на применимость мер по безопасной разработке программного обеспечения в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 к системам ОАО «РЖД» различного назначения. Также была отмечена важность создания защищенного репозитория исходных кодов и программного обеспечения в АО «НИИАС».

Решено одобрить предложенные подходы к выполнению Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования», а также признать целесообразным рассматривать два подхода в части разработки безопасного ПО для автоматизированных информационных систем ОАО «РЖД» в зависимости от принадлежности системы к первому или второму типу с точки зрения обеспечения безопасности. >>>

Первый подход предполагает безусловную реализацию мер ГОСТ Р 56939-2016 для автоматизированных и информационных систем, для которых выполнение мер по обеспечению функциональной безопасности не является приоритетным. Второй подход предполагает применение положений ГОСТ Р 56939-2016 к так называемым «низовым» системам класса АСУ ТП железнодорожной автоматики и телемеханики, подвижного состава, электроснабжения, непосредственно осуществляющих управление технологическим оборудованием и техническими средствами железнодорожного транспорта, к которым предъявляются повышенные требования функциональной безопасности.

Отмечено, что требования федеральных нормативно-правовых актов, в том числе приказов ФСБ России и ФСТЭК России, нормативно-распорядительных документов ОАО «РЖД» и отраслевых стандартов, а также рекомендации стандартов ФСТЭК России в части реализации мер обеспечения безопасности должны выполняться для систем обоих типов.

Определено, что для систем первого типа меры обеспечения безопасности процесса разработки согласно ГОСТ Р 56939-2016 с целью получения в качестве результата безопасное ПО является актуальной частью общей задачи обеспечения информационной безопасности (ИБ).

При этом, следует признать, что системы второго типа обладают ярко выраженной спецификой, обусловленной прежде всего требованиями обеспечения безопасности движения поездов. Для систем такого типа в первую очередь должны реализовываться меры функциональной безопасности (ФБ), определенные ГОСТ Р/МЭК 62279-2016, ГОСТ Р/МЭК 61508-3-2018 и другими связанными с ними стандартами, а затем – меры ИБ, определенные нормативно-распорядительными документами, комплексом отраслевых стандартов и ГОСТ Р 56939-2016 с целью устранения уязвимостей, нейтрализация которых осталась не обеспеченной реализацией мер функциональной безопасности.

Как следствие, специфических требований безопасности программного обеспечения систем «низового» уровня требуют отдельного обсуждения.

4. Научные основы и реализация риск-ориентированного подхода в обосновании безопасности

Автор: **Махутов Н.А.** По материалам заседания [5] Семинара ИМАШ РАН-НИИАС от 14.07.2023. Секция 7. Управление активами, надёжностью и рисками (Шубинский И.Б., Бочков А.В.)

Сложное многофакторное развитие социально-природно-техногенной системы сопряжено с проявлением широкого спектра опасностей – кризисов, вызовов, угроз, техногенных катастроф, стихийных бедствий, социальных потрясений. Указанное требует постановки и решения большого числа междисциплинарных, межотраслевых и межгосударственных задач, конечной целью решения которых является комплексный анализ, прогнозирование и предотвращение самых неблагоприятных сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций на основе концепции стратегических рисков, характеризующихся параметрами вероятностей возникновения таких ситуаций и величинами возможных ущербов при их реализации.

Сложные процессы жизнедеятельности человека, общества и государства протекают в непрерывно изменяющейся социально-природно-техногенной системе – С-П-Т системе.

С 1724 г., на протяжении трех веков, главным центром отечественной науки были, в рамках правопреемственности, Академия наук и художеств в Санкт-Петербурге, Императорская академия наук – Российская академия наук – Академия наук СССР – Российская академия наук (РАН).

В современных условиях РАН организует и проводит фундаментальные и прикладные исследования по получению, использованию новых знаний об общих законах взаимоувязанного развития человека, природы и техносферы в рамках естественных, технических, гуманитарных и общественных направлений. Дальнейшее сложное многофакторное и многокритериальное развитие С-П-Т системы сопряжено с проявлением большого спектра опасностей – повреждений, кризисов, вызовов, угроз, стихийных



Рисунок 1. Категорирование опасных процессов и объектов С-П-Т системы по характеристикам ущерба, вероятностей и рисков

бедствий, социальных потрясений, а также техногенных катастроф в условиях мирного и военного времени.

Это требует постановки и решения большого числа междисциплинарных, межотраслевых и межгосударственных проблем, конечной целью которого становится комплексный анализ, прогнозирование, предупреждение и предотвращение самых неблагоприятных сценариев существования и продолжения разумной жизни на Земле.

»»»

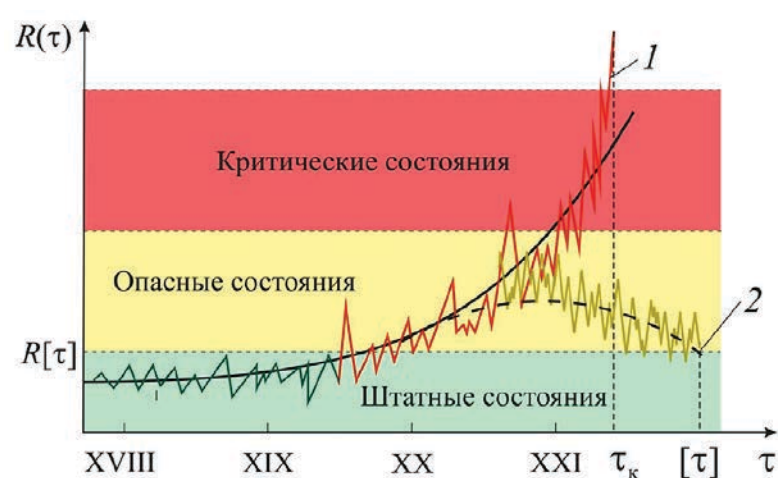


Рисунок 2. Схематизация изменений состояний С-П-Т системы

Актуальность такого решения стала особенно значимой в начале второго десятилетия XXI века в условиях резко обострившихся противостояний двух стратегических линий развития – с обострением нерешенных проблем с резко возрастающими во времени стратегическими рисками или со стремлением снижения этих стратегических рисков (кривая 1), формирующихся до приемлемого уровня $R(\tau)$. Реализация первой линии чревата возникновением и развитием катастрофических состояний С-П-Т системы с критическими рисками, а реализация второй – её сохранением и дальнейшим, пусть и неустойчивым, развитием в зоне приемлемых рисков, что отвечает приемлемому уровню безопасности.

Выдающаяся роль в постановке и решении фундаментальных проблем развития С-П-Т системы принадлежит всемирно известным отечественным ученым, академикам и президентам Академии наук Л. Эйлеру, П.Л. Чебышеву, Н.И. Лобачевскому, Д.И. Менделееву, И.П. Павлову, Н.Е. Жуковскому, Г.М. Кржижановскому, В.И. Вернадскому, Н.И. Вавилову, И.В. Курчатову, С.П. Королеву, М.В. Келдышу, А.П. Александрову, Г.И. Марчуку, Н.Н. Моисееву, Ю.С. Осипову, В.Е. Фортову, А.М. Сергееву.

В последнее время в нашей стране с учетом международных стратегий ООН по устойчивому развитию (1992 г.) был принят ряд новых государственных решений: доктрины национальной и военной безопасности; концепции устойчивого развития и комплексной безопасности; стратегии национальной безопасности, научно-технологического развития, энергетическая и транспортная стратегии; основы государственной политики в области стратегического планирования, защиты от чрезвычайных ситуаций, обеспечения промышленной и экологической безопасности; федеральные законы в области общей, видовой и отраслевой безопасности.

Первые систематические исследования в АН СССР, ГКНТ СССР, РАН, МЧС России, Минпромнауки России, Госгортехнадзоре по проблемам безопасности и рисков в нашей стране начались в 1989–1991 гг. в рамках Государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» [6]. В них активное участие принимали академические институты (ИМАН, ИГЭ, ИГП), высшие учебные заведения (МГУ, ГУУ, МВТУ, МИСиС, МИСИ), ведущие отраслевые научные организации (ИАЭ, ЦНИИМАН, ЦНИИТМАН, НИКИЭТ). С начала XXI века на базе ГНТП «Безопасность» была сформиро-

вана и реализована целая группа Федеральных целевых и Государственных программ (МЧС России, Минобороны, Минтранс, Минэнерго, Росатом, Роскосмос). Научная база по результатам фундаментальных исследований создавалась при реализации проблемных программ и планов РАН, а их координация выполнялась президиумом РАН и Рабочей группой при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, созданной после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Результаты полученных научных исследований и практических разработок этих проблем в 1997 г. по рекомендации Совета Безопасности и Управления делами Президента Российской Федерации подлежали опубликованию в многотомном издании «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и технические аспекты» [7]. К настоящему времени опубликовано 64 тома.

Анализ стратегических рисков России впервые в специальной постановке был выполнен МЧС России, РАН [8]. В последующие годы развитие методов анализа, регулирования, нормирования и управления рисками получило обобщенное название риск-ориентированного подхода, которое нашло свое отражение в законодательной базе и стратегии национальной безопасности [9].

В теории безопасности под рисками понимается сочетание двух важнейших параметров для С-П-Т системы: вероятности (или частоты) возникновения заданного вида указанных опасностей и последствий (или ущерба) от реализации этой опасности в определенный момент времени. В общем виде функционал может представлять из себя интеграл зависимостей или наоборот, а для целого ряда опасных процессов можно ограничиться произведением вероятности на ущерб.

Исходная статистическая информация для получения данных о параметрах и накапливается в ежегодных докладах МЧС России, Ростехнадзора, Росприроднадзора, Росстата и других надзорных органов. Её обобщение содержится в информационно-аналитических справках, подготавливаемых для Совета Безопасности Научным советом при Совете Безопасности РФ, в докладах РАН. Эта информация и расчетные соотношения позволяют дать количественную оценку комплексной безопасности С-П-Т системы в соответствии с требованиями риск-ориентированного подхода, где S_T – запас по рискам ($S_T \geq 1$), назначаемый органами государственного управления с надлежащим научным обоснованием. Безопасность С-П-Т системы обеспечена, если $S_T \geq 1$.

По параметрам рисков и в развитие отечественных и зарубежных нормативно-правовых документов предложено проводить категорирование анализируемых опасных процессов и объектов С-П-Т системы по мере возрастания рисков:

- 1) локальные риски, когда ограниченные потенциальные опасности возникают и реализуются в пределах отдельных элементов С-П-Т системы;
- 2) объектовые риски, когда значимые опасности процессов реализуются в пределах анализируемого объекта;
- 3) местные риски, когда повышенные потенциальные опасности процессов и объектов выходят за пределы объекта;

>>>

- 4) региональные риски, когда высокие возникающие и развивающиеся опасности процессов и объектов затрагивают жизнедеятельность жизнеобеспечение регионов;
- 5) национальные риски, когда чрезмерные возникающие и развивающиеся комплексные опасности угрожают всей стране;
- 6) глобальные риски, когда предельно высокие опасности угрожают сопредельным государствам и континентам;
- 7) планетарные риски, когда катастрофические опасности угрожают всей планете.

Из семи указанных риски 1-2 категории можно отнести к рискам, традиционно и нормативно регулируемым; риски 3 категории – к рискам, требующим особых муниципальных и отраслевых процедур определения и регулирования; риски 4-5 категорий – к критически важным рискам, требующим специальных государственных и межгосударственных процедур обоснования, определения и регулирования; риски 6-7 категорий – к стратегически важным рискам, требующим государственного, межгосударственного и общемирового обоснования, определения и регулирования. По данным анализа и обобщения [8] возникших в предшествующие годы и десятилетия опасностей, бедствий, аварий и катастроф в С-П-Т системе на рис. 3 представлена интегральная информация об основных параметрах, и рисков для 1-7 категорий.

Риски по источникам и причинам их возникновения в С-П-Т системе можно разделить на следующие компоненты: R_C – риски в социальной сфере; R_P – риски в природной сфере; R_T – риски в техногенной сфере. Если риски выражены в экономических показателях, то их можно суммировать. Используя указанное выше категорирование рисков по семи категориям для С-П-Т системы, можно построить предельные и допускаемые трехмерные поверхности её состояний по рискам (рис. 4).

Принципиально важной задачей обеспечения комплексной безопасности С-П-Т системы является [8] предварительное обоснование и назначение категорий анализируемых опасных ситуаций с возрастающими рисками штатных – в соответствии с проектными решениями; отклонения от штатных; проектных аварийных; запроектных аварийных, катастрофических; гипотетических с катастрофическими последствиями.

По мере усложнения анализируемых ситуаций и роста рисков возрастают неопределенности в оценках всех параметров, что требует увеличения запасов по рискам в итоговом выражении. Для надлежащего определения рисков и безопасности требуется проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, конструкторско-технологических работ, контрольно-надзорных и нормативно-технических мероприятий с обязательными расчетными затратами.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что для реализации концепций и стратегий развития

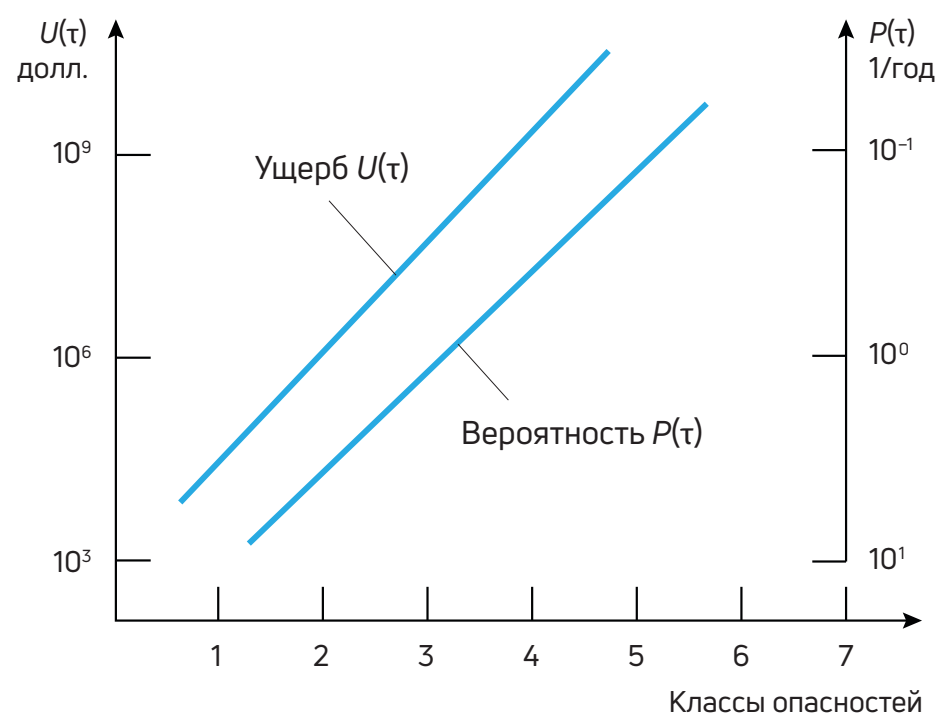


Рисунок 3. Ущерб $U(\tau)$ и вероятность $P(\tau)$ для опасных процессов и объектов С-П-Т системы

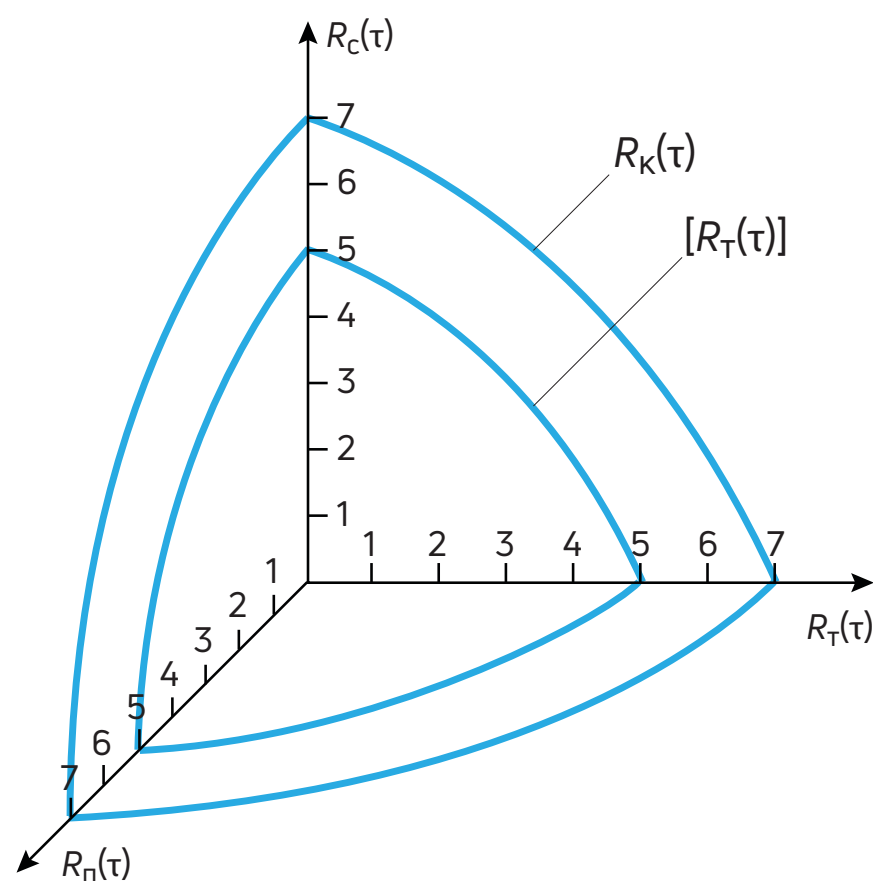


Рисунок 4. Поверхности предельных и допускаемых состояний С-П-Т системы по категориям рисков

С-П-Т системы жизнедеятельности и жизнеобеспечения можно достичь величин на уровне 2-10, что означает такое же снижение затрат $ZR(\tau)$ по сравнению с реальными ущербами и рисками от возникших и непредупрежденных бедствий, аварий и катастроф.

Стратегия национальной безопасности как базовый документ для дальнейшего развития России предписывает поэтапный переход на использование риск-ориентированного подхода, основные научные элементы которого изложены выше.

5. О репозитории доверенного программного обеспечения

Авторы: **Галдин А.А., Иновенков В.А., Калашников А.М.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 05.07.2023. Секция 8. Информационная и кибербезопасность (Сабанов А.Г., Безродный Б.Ф.)

Обсуждена концепция централизованного репозитория исходного кода АО «НИИАС» на базе ПО с открытым исходным кодом *GitLab*, позволяющего обеспечить единые подходы для реализации технологий безопасной разработки ПО в части:

- централизованного подключения к ПО *AppScreeener* АО «НИИАС»;
- взаимодействия с ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД»;
- централизованного хранения и контроля доступа к интеллектуальной собственности Института;
- структурирования текущей кодовой базы Института.

Создание реестра доверенных программ и библиотек должно упростить и ускорить сам процесс разработки за счёт включения в реестр не только ПО, разработанного в Институте, но и стороннего, прошедшего соответствующие проверки на предмет отсутствия недеklarированных возможностей и уязвимостей. Такой подход позволит стандартизировать используемые библиотеки и программы.

Процесс проверки и выдачи заказчику дистрибутива ПО должен исключать возможность разработчика вносить изменения в исходный код после проверки анализаторами. Решением данной проблемы может послужить создание единой фермы сборки и тестирования ПО.

Проанализирована практика использования ПО *AppScreeener* в АО «НИИАС» взаимодействие с ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД». Отмечено, что в настоящее время не так много подразделений Института практикуют проверку кода с использованием ПО *AppScreeener*. Подразделения, которые производят такую проверку, используют ее только при выдаче обновлений для ГВЦ ОАО «РЖД». С начала текущего года зафиксировано 41 обращение в НТК ТИО по вопросу проверки исходного кода с использованием ПО *AppScreeener*. Повторные проверки одного кода – редкость. Анализ предоставляемых исходных данных показал, что в основном для проверки с использованием ПО *AppScreeener* подразделениями АО «НИИАС» направляются инкрементальные обновления и отдельные модули или процедуры, что не всегда дает полную картину проверки. Для проверки направляют и бинарные файлы, причем ГВЦ ОАО «РЖД» иногда на это не обращает внимания, что, по нашему мнению, не совсем корректно.

В настоящее время в ГВЦ ОАО «РЖД» исходный код считается допустимым для установки только без критических ошибок, что не всегда является достаточным. Все процедуры по подготовке кода к проверке, проверка кода и выдача отчета требуют ручной работы, и сами по себе длительны. Так, например, отдельные модули сканируются более суток. При этом при автоматизации процесса сканирования его продолжительность по времени для инициатора проверки была бы значительно сокращена.

Отмечена необходимость синхронизации настроек и версий ПО *AppScreeener* АО «НИИАС» и ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД» для исключения расхождений в отчетах о проверке, а также повышение нагрузки на обслуживающих специалистов, а также времени отклика на экстренно возникшую потребность оперативной проверки изменения кода или добавления внешних библиотек при создании единого *GitLab* для АО «НИИАС».

Подтверждена актуальность вопросов отказоустойчивости и удобства администрирования единого репозитория и необходимость включения, используемого ПО с открытым исходным кодом, а также библиотек в единый *GitLab* АО «НИИАС» и его проверки анализаторами кода. При этом рекомендовано ограничение репозитория на первом этапе только централизованным хранением релизных версий ПО с обеспечением их автоматизированной проверки ПО *AppScreeener* АО «НИИАС» и ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД».

Достигнута договоренность о проведении на регулярной основе семинаров по данной тематике с учётом практической ценности проведённого семинара и актуальности тематики.

Отмечена важность разработки проекта и вариантов регламента, «дорожной карты» создания и внедрения единого доверенного репозитория исходных кодов и ПО в АО «НИИАС».

Высказано предложение по организации рабочей группы для выработки решений по созданию доверенного репозитория исходных кодов и ПО АО «НИИАС» и отмечена необходимость инициации инвестиционного проекта «Создание и внедрение единого доверенного репозитория исходных кодов и ПО в АО «НИИАС» с формированием паспорта проекта, план-графика проекта и рабочей группы проекта.

6. Применение широкополосных сетей связи на базе технологии LTE на железнодорожном транспорте. Придание стандарту LTE статуса железнодорожной электросвязи. Стандартизация LTE

Авторы: **Вериге А.М., Шурдак А.В.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 06.09.2023. Секция 6. Системы телекоммуникаций и передачи данных (Вериге А.М., Шурдак А.В.)

Рассмотрено положение дел с основными проектами и существующими сетями LTE на сети железных дорог. Отмечено, что на станция Челябинск-Главный реализу-

ется масштабный проект «Цифровая железнодорожная станция» (далее – ЦЖС). Станция оборудования системой радиосвязи TETRA, также развернут сегмент сети >>>

LTE 1800 МГц в составе 5 базовых станций с ядром сети Nokia. В составе модуля 16 проекта ЦЖС запланированы работы по замене радиоканала TETRA на радиоканал стандарта LTE, (выполняются Отделением телекоммуникаций и систем передачи данных института). Известно, что по программе ЦЖС на эту систему нагружается целый перечень технологических задач, включая задачи по беспилотному управлению маневровыми локомотивами. Учитывая, что пропускная способность системы также ограничена, необходимо разумно распределить ресурс системы. В противном случае может возникнуть ситуация, при которой реализация технологических задач будет невозможна. Поэтому необходимо определить перечень технологий, основанных на использовании радиосвязи, оценить нагрузку, создаваемую каждой из технологий, и при очевидной необходимости откорректировать проектные решения, использовать другие частотные диапазоны и радиосредства (наиболее каналоемкая технология – управление маневровыми локомотивами без машиниста, парк маневровых локомотивов на станции составляет 40 единиц).

Отмечено состояние разработки сети МШБД LTE 1800 МГц на МЦК. Минтранс России продолжает работы по подготовке процедуры передачи сети на баланс ОАО «РЖД». Завершение процедуры ожидается до конца текущего года, после чего можно будет рассматривать вопрос проверки/восстановления работоспособности сети, ее дооснащения для выполнения задач беспилотного вождения электропоездов «Ласточка» и проведению испытаний по сопряжению ядра сети Huawei с базовыми станциями других производителей.

На станции Бекасово-Сортировочное завершены 3, 4 и 5 этапы контрольных эксплуатационных испытаний радиооборудования различных производителей оборудования LTE. Признано целесообразным продолжение работы по разработке условий совместного использования диапазона 350-370 МГц с радиоэлектронными средствами военного назначения совместно с Минобороны России (запланировано в рамках работы по организации радиосвязи для ВСЖМ-1). При развитии систем LTE следует обратить внимание на проблему обеспечения синхронизации. Отмечено, что не решен вопрос по проведению масштабных испытаний локомотивной радиостанции стандарта LTE.

Основной объем работ по направлению радиосвязь для технологии «виртуальная сцепка» выполняет компания «АВП-технологии», которая взаимодействует с ООО «Апогей». Перед этой организацией, поставляющей радиомодемы «М-Линк», поставлена задача разработки универсального модема DMR+М-Линк. Однако не ясны действия «Апогея» по данному вопросу. Необходимо уточнить состояние вопроса и принять соответствующие решения. В случае отказа «Апогея» необходимо определить универсальное решение по модему 160 МГц для оборудования локомотивных радиостанций передачи данных. Также необходимо продолжить работы по созданию наземной инфраструктуры системы М-Линк.

Воронежский государственный технический университет (ВГТУ) совместно с ООО «НПП АСС» выполняет работы по созданию российского комплекса подвижной спутниковой связи с использованием сигналов с расширением спектра на базе существующей наземно-космической инфраструктуры, а также создаваемых центральной станции и абонентских станций спутниковой связи. Признано возможным и перспективным направлением сотрудничества создание и проведение испытаний комплекса средств железнодорожной спутниковой радиосвязи для предоставления услуг по передаче голоса и небольших объемов данных, аналогичных по характеристикам системе *Iridium*, применявшейся в ОАО «РЖД» до изменения геополитической обстановки.

С учетом существующих наработок ВГТУ и АО НПП «АСС» в сложившихся условиях необходимости перехода на использование отечественных спутниковых средств представляется целесообразной и своевременной постановка в ОАО «РЖД» научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по теме «Разработка спутниковой системы железнодорожной радиосвязи с разделением каналов по форме».

Выполнение предлагаемой НИОКР возможно в 2 этапа: отработка системотехнических решений в низких широтах с использованием группировки геостационарных спутников на первом этапе; перенос системотехнического решения в высокие широты на основе применения группировки низколетящих и квазигеостационарных космических аппаратов по мере развития указанных спутниковых группировок.

7. Нормирование показателей надежности больших систем на примере сети железных дорог

Автор: **Новожилов Е.О.** По материалам заседания Семинара ИМАШ РАН-НИИАС от 15.11.2023. Секция 7. Управление активами, надёжностью и рисками (Шубинский И.Б., Бочков А.В.)

7.1. Эксплуатационные показатели надежности объекта

Классические показатели надежности, характеризующие безотказность объекта, его способность к восстановлению и готовность (как комплексный показатель), предусматривают, что объект может иметь только два состояния: работоспособное и неработоспособное. Такой объект будем считать «простым» объектом [10].

Эксплуатационные показатели надежности простого объекта формируются на основе данных наблюдения за объектом в процессе его эксплуатации.

Пусть простой объект является:

- восстанавливаемым;
- обслуживаемым;
- предназначенным для непрерывного и длительного применения.



Неработоспособное состояние этого объекта возникает вследствие отказа (выполнять требуемые функции) и продолжается до восстановления работоспособного состояния. Таким образом, этот объект либо работает, либо находится на восстановлении после отказа.

В результате наблюдения за объектом мы получаем информацию о моментах времени отказа и восстановления, откуда известны интервалы наработок между отказами t_{o1}, t_{o2}, t_{o3} и так далее, и интервалы времени до восстановления $t_{в1}, t_{в2}, t_{в3}$ и так далее, а также количество r отказов (которое равно количеству восстановлений).

Очевидно, что если произошел отказ простого объекта и он находится на восстановлении, то в течение времени до восстановления последующий его отказ произойти не может (т.к. в это время объект не работает). Поэтому важной особенностью простого объекта является то, что сумма интервалов времени до восстановления (за интервал наблюдения T_n) не может превысить сам интервал наблюдения T_n .

За некоторый интервал наблюдения T_n из интервалов наработок между отказами и интервалов времени до восстановления могут быть сформированы следующие показатели:

- суммарная и средняя наработки между отказами;
- суммарное и среднее время до восстановления;
- интенсивность отказов;
- коэффициент готовности.

При этом для простого объекта суммарная наработка между отказами и суммарное время до восстановления вместе составляют величину интервала наблюдения.

В качестве основных эксплуатационных показателей надежности простого объекта применяются следующие:

- среднее время до восстановления;
- интенсивность отказов;
- коэффициент готовности.

Для удобства практического применения данные показатели выражаются через интервал наблюдения T_n и следующие первичные показатели:

- количество отказов r за интервал T_n ;
- суммарное время T_b до восстановления за интервал T_n .

Существуют так называемые «сложные» объекты, которые характеризуются наличием частично работоспособного состояния. Это означает, что такой объект состоит из нескольких частей и существует такое подмножество его отказов, при возникновении которых отказывает только одна из частей и при этом работоспособность объекта полностью не прекращается. Таким образом, сложный объект имеет три состояния: работоспособное, неработоспособное и частично работоспособное.

Далее будем рассматривать сложный объект, у которого отказы его частей взаимно независимы и у которого не бывает отказа, вызывающего полное прекращение работы объекта.

Например, таким сложным объектом является цех, выпускающий продукцию и включающий 10 конвейерных линий с одинаковой производительностью. В случае отказа одной из линий цех не переходит в неработоспособное состояние, а продолжает функционировать в режиме сниженной производительности (или эффективности). Таким образом, отказ одной линии можно считать

частичным отказом сложного объекта, переводящим его в частично работоспособное состояние.

Важной особенностью сложного объекта является то, что последующий его отказ (отказ его части) может произойти до момента восстановления после текущего отказа.

При условии достаточной надежности частей сложного объекта, ситуацию, в которой откажут все его части, можно считать практически невероятной. Тогда такой объект всегда будет находиться в работоспособном или частично работоспособном состоянии. Очевидно, что в этом случае для рассматриваемого сложного объекта (в целом) интервал наработки между отказами утрачивает смысл, поскольку этот интервал характеризует часть времени, которую объект работал (а рассматриваемый сложный объект не прекращает работу).

Для случая, когда сложный объект включает N одинаковых простых объектов, показатели надежности такого объекта могут быть приведены к одному простому объекту.

Поскольку все N простых объектов одинаковы и работают в одинаковых условиях, то количество r отказов сложного объекта, полученное за интервал наблюдения T_n , должно равномерно распределиться по N объектам. Также и суммарное время T_b до восстановления сложного объекта должно равномерно распределиться по N объектам. Тогда в пересчете на один простой объект:

$$r_1 = \frac{r}{N}, \quad T_{b1} = \frac{T_b}{N}$$

С учетом этого, можно получить основные показатели надежности, приведенные к одному простому объекту и оценивать по ним эксплуатационную надежность сложного объекта. Следует отметить, что среднее время до восстановления, приведенное к одному простому объекту, не отличается от среднего времени до восстановления сложного объекта (т.к. является удельным показателем затрат времени на устранение одного отказа). Особенностью сложного объекта, представимого в виде N одинаковых простых объектов является то, что суммарное время T_b до восстановления (за интервал наблюдения T_n) не может превысить произведение $N \times T_n$.

Вероятности нахождения сложного объекта, включающего N одинаковых простых объектов:

- в полностью неработоспособном состоянии $P_{нр}$ (когда 0 из N объектов работоспособны);
- в частично работоспособном состоянии $P_{чр}(n)$ (когда n из N объектов работоспособны);
- в полностью работоспособном состоянии P_p (когда все N объектов работоспособны)
- могут быть определены на основе биномиального распределения вероятностей

$$P_{нр} = \frac{N!}{(N-0)!0!} (p_p)^0 (1-p_p)^{N-0} = (1-p_p)^N,$$

$$P_{чр}(n) = \frac{N!}{(N-n)!n!} (p_p)^n (1-p_p)^{N-n}$$

$$P_p = \frac{N!}{(N-N)!N!} (p_p)^N (1-p_p)^{N-N} = (p_p)^N$$

В вышеприведенных формулах p_p – вероятность работоспособности простого объекта в текущий момент времени (которая представляет собой коэффициент готовности простого объекта).



- Из таблицы 1 видно, что с ростом N :
- полностью неработоспособное состояние становится крайне маловероятным (в случае, когда у простого объекта $p_p = K_r = 0,99$ уже при $N = 5$ этой вероятностью можно пренебречь);
 - вероятность нахождения сложного объекта в частично работоспособном состоянии растет; при этом при больших N распределение вероятности $P_{чр}$ имеет максимум в точке $n = p_p \times N$.
 - вероятность нахождения сложного объекта в полностью работоспособном состоянии падает, поскольку вероятность неработоспособности хотя бы одного из N простых объектов при росте N будет возрастать.

Поэтому если рассматривать сложный объект с очень большим N , то следует отметить, что он практически всегда будет находиться в частично работоспособном состоянии.

Ситуация усложняется, когда сложный объект нельзя представить в виде нескольких одинаковых простых объектов, функционирующих независимо. Это имеет место, например, в следующих случаях:

- сложный объект включает неодинаковые простые объекты;
- сложный объект включает объекты, не являющиеся простыми (например, часть простых объектов имеет резервирование);
- существуют неизвестные (не полностью известные) взаимозависимости между функционированием простых объектов, составляющих сложный объект;
- условия эксплуатации простых объектов в составе сложного объекта различаются;
- возможности восстановления простых объектов в составе сложного объекта различаются.

Указанные случаи осложняются при территориально распределенном характере сложного объекта и многоуровневой организационной структуре управления таким объектом.

Для сложного объекта время работоспособности не является разностью интервала наблюдения и суммарного времени неработоспособности (поскольку во время восстановления части объекта работоспособность его в целом не прекращается).

При высокой надежности частей большого сложного объекта, в произвольный момент времени работоспособно подавляющее большинство этих частей. Так что, если пренебречь долей неработоспособных частей, то можно считать, что наработка между отказами для простого объекта заменяется на наработку между моментами возникновения отказов для сложного объекта, и в этом случае суммарная наработка за интервал наблюдения становится равной этому интервалу: $T_o^* = T_n$.

В этом случае вместо интенсивности отказов вводится частота отказов, а вместо коэффициента готовности (в связи с заменой интенсивности на частоту) вводится немного другой по смыслу коэффициент, который можно считать коэффициентом сохранения эффективности (поскольку такое понятие применяется в отношении сложных объектов).

Графики на рис. 5 показывают зависимость значений коэффициента готовности и коэффициента сохранения эффективности от суммарного времени T_b до восстанов-

Таблица 1
Вероятности нахождения сложного объекта для N одинаковых простых объектов: для неработоспособного состояния; для частично работоспособного и для полностью работоспособного состояния

N	$P_{чр} (n = 0)$	$P_{чр} (n = 1 \dots N-1)$	$P_p (n = N)$
1	1×10^{-2}	0	0,99
2	1×10^{-4}	$1,980000 \times 10^{-2}$	0,9801
5	1×10^{-10}	$4,900995 \times 10^{-2}$	0,95099
10	1×10^{-20}	$9,561792 \times 10^{-2}$	0,9043821
20	1×10^{-40}	0,1820931	0,8179069
50	1×10^{-100}	0,3949939	0,6050061
100	1×10^{-200}	0,6339677	0,3660323
200	1×10^{-400}	0,8660203	0,1339797
500	1×10^{-1000}	0,9934295	$6,570483 \times 10^{-3}$
1000	1×10^{-2000}	0,9999568	$4,317125 \times 10^{-5}$



Рисунок 5. Различия коэффициента готовности и коэффициента сохранения эффективности

ления при фиксированном значении величины интервала наблюдения 8760 часов (что соответствует 1 году).

- Из графиков видно, что:
- в области значений около 1 оба коэффициента практически совпадают;
 - коэффициент готовности не применим в случае если суммарное время до восстановления превышает интервал наблюдения;
 - коэффициент сохранения эффективности применим практически при любом соотношении T_b и T_n .

Следует отметить, что в случае, когда суммарное время до восстановления в несколько раз превышает интервал наблюдения, K_g будет принимать сравнительно малые значения. По привычной сопоставимости с коэффициентом готовности, это может интерпретироваться как низкая надежность сложного объекта. Но с учетом того, что данный показатель подлежит нормированию, оценка надежности объекта будет выполнена путем сопоставления нормируемого и фактического значений K_g , что обеспечит объективную оценку.

7.2. Эксплуатационные показатели надежности большой системы (на примере железнодорожного пути сети железных дорог)

Среди ведущих железных дорог мира российские железные дороги занимают третье место по протяжен-

ности железнодорожных линий. Общая протяженность составляет 85,6 тыс. км, из них 44,3 тыс. км электрифицировано. Это говорит о том, что сеть железных дорог, а также ее подсистемы, являются большими техническими системами.

Под сложной системой понимается объект, предназначенный для выполнения заданных функций, который может быть разделен на части (компоненты, элементы), каждый из которых также выполняет определенные функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы. Сеть железных дорог является большой и сложной технической системой, состоящей из множества подсистем, узлов, деталей, агрегатов, систем управления и т.п. Большими системами на железнодорожном транспорте являются железнодорожный путь (85,6 тыс. км), контактная сеть (44,3 тыс. км), сеть связи ВОЛС (более 57 тыс. км) и другие системы.

Ярким примером статистических данных об отказах и восстановлениях сложного объекта являются данные об отказах 3 категории комплексной автоматизированной системы КАСАНТ для объекта «верхнее строение пути».

Например, по данным за 2019 г. зафиксировано 158 794 отказа 3 категории, суммарное время до восстановления составило 2 209 460 ч (это в 250 с лишним раз превышает длительность годового интервала наблюдения!).

При применении формул для оценки эксплуатационной надежности простого объекта к рассматриваемому объекту очевидно, что (кроме среднего времени до восстановления) данные формулы не применимы в виду невыполнения условия $T_B < T_H$.

Применение формул для оценки эксплуатационной надежности сложного объекта, представимого в виде N одинаковых простых объектов, к рассматриваемому объекту дает приемлемые результаты, но сложность состоит в выборе N (поскольку верхнее строение пути не представляется возможным разделить на N одинаковых объектов, эксплуатирующихся в одинаковых условиях). Здесь N было установлено эмпирическим путем как количество перегонов и станций на сети.

Следует отметить, что данные выражения также применяются при нормировании показателей и должны обеспечивать корректные вычисления.

Применение формул для оценки эксплуатационной надежности сложного объекта, не представимого в виде N одинаковых простых объектов, к рассматриваемому объекту дает приемлемые результаты.

Здесь следует отметить, что поскольку система показателей – другая, то их значения отличаются. Но поскольку данные выражения будут применены при нормировании показателей, то этим будет обеспечено корректное сопоставление фактических и нормируемых значений.

7.3. Нормирование показателей надежности большой системы

Среди известных видов нормирования надежности получили распространение следующие:

Нормирование на основе экономических оценок. Нормируемые показатели надежности определяются путем сопоставления усредненных значений ущерба, вызываемого отказами системы, и затрат, которые снижают

этот ущерб. Кривая суммы затрат и ущерба в общем случае имеет минимум. Оптимальный уровень надежности, соответствующий этому минимуму, принимают в качестве нормируемого значения;

Нормирование на основе расчетов затрат на повышение надежности. Строятся кривые затрат, вкладываемых в систему на повышение надежности, в зависимости от величины показателя надежности. Нормируемый уровень надежности выбирается по части кривой на которой существенное увеличение затрат не влияет на заметное увеличение надежности.

Нормирование на основе экспертных оценок. Выделяется круг специалистов (экспертов), которым предлагается количественно оценить уровень надежности, по их мнению, являющийся оптимальным. Полученная по ответам экспертов оценка может служить нормируемым уровнем надежности [11]. К данному виду оценки относится способ, при котором норматив определяется на основе опроса потребителей;

Ретроспективный анализ. Данный подход позволяет нормировать показатели надежности на основе прошлого опыта функционирования системы. По данным, полученным в результате статистической обработки ретроспективной информации о надежности, можно получить оценку достигнутого уровня надежности при определенных принципах принятия решения (схемах, системе обслуживания, параметрах элементов системы и т. д.) и перенести эту оценку на перспективу. Такой способ широко используется в настоящее время в различных странах, однако область применения ограничена, поскольку его нельзя использовать при проектировании систем с новой технологией, изменении системы обслуживания, внедрении новых видов оборудования и т.д.

Для больших систем железных дорог подход на основе ретроспективного анализа является приемлемым, поскольку:

- в информационных системах содержится необходимый объем данных практически по всем объектам оценки;
 - для подходов на основе экономических показателей, как правило, недостаточно исходных данных.
- Алгоритм нормирования показателей надежности на основе статистических данных за прошедшие периоды включает следующие основные этапы:
- определение вида объекта («верхнее строение пути»);
 - анализ статистических данных по отказам и восстановлениям объекта за предшествующие периоды;
 - определение размерности объекта и интервала наблюдения;
 - выбор теоретических распределений плотности вероятности, их параметров, для количества r отказов и суммарного времени T_B до восстановления;
 - определение квантиля распределения плотности вероятности заданной обеспеченности $r_{доп}$ (для количества отказов) и $T_{в,доп}$ (для суммарного времени до восстановления);
 - вычисление значений нормируемых показателей надежности – допустимого среднего времени до восстановления ($t_{в,доп}$), допустимой интен- ➤➤➤

сивности или частоты отказов ($\lambda_{\text{доп}}/f_{\text{доп}}$), допустимого коэффициента готовности или сохранения эффективности ($K_{\text{г.доп}}/K_{\text{э.доп}}$) по формулам для эксплуатационных показателей.

При этом одной из задач является обеспечение масштабирования нормируемых значений (с учетом изменения доверительных границ) при изменении размерности объекта оценки («вся сеть» – «служба пути железной дороги» – «дистанция пути» – «участок пути») и интервала наблюдения (12 мес., 6 мес., 3 мес., 1 мес.).

Принимая во внимание задачу обеспечения масштабирования нормируемых значений для заданной размерности объекта оценки и заданного интервала наблюдения, с учетом того, что известны статистические данные за несколько лет наблюдения, в частности, количество отказов за указанный период, представляется целесообразным применение мультиномиального распределения вероятностей.

Сформированная структура ячеек содержит m ячеек одинаковой размерности (по вертикали показаны одинаковые части сложного объекта, по горизонтали – одинаковые интервалы наблюдения).

Если принять допущение, что вероятность возникновения отказа в каждой ячейке одинакова, то распределение n отказов, которые по статистическим данным прошлых периодов произошли на сложном объекте в целом, за время, равное сумме интервалов наблюдений, по m ячейкам будет описываться мультиномиальным законом.

На практике «одинаковость» частей объекта реализуется системой переводных эталонных коэффициентов (как это делается в системе УРРАН), а «равнозначность» интервалов наблюдения – введением «коэффициентов сезонности» (то есть, принятые допущения могут быть обеспечены).

Для задачи установления допустимого значения количества отказов представляет интерес вероятность того, что в ячейке с максимальным количеством отказов их будет не более v . Суммирование по i выполняется для всех разбиений числа n на m частей (упорядоченных по невозрастанию значений), у которых $n_1 \leq v$. В ходе анализа множества алгоритмов вычисления вероятностей распределения мультиномиального максимума получена аппроксимация квантиля функции распределения на основе непрерывной функции распределения Гумбеля для наибольших значений. Данное выражение позволяет найти квантиль для заданной доверительной вероятности α (в формуле B , A – соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение функции распределения мультиномиального максимума с параметрами n, m ; μ, σ – соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение стандартного распределения Гумбеля для наибольших значений, $\mu=0,577216$; $\sigma=1,28255$).

Суммарное время T до восстановления после r отказов с приемлемой для практики точностью представляется с помощью гамма-распределения (здесь τ – ожидаемая величина времени до восстановления).

Если известна плотность $p(r)$ распределения вероятности количества отказов, то суммарное время T до восстановления выражается сверткой распределений (для

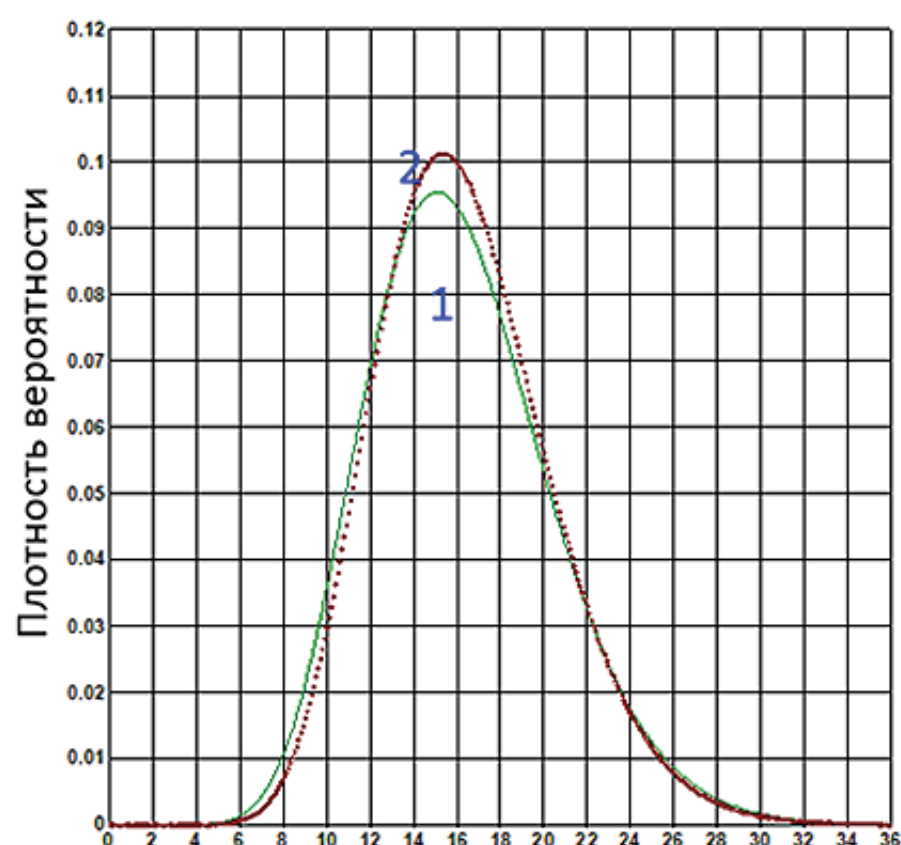


Рисунок 6. Кривые плотностей вероятности суммарного времени до восстановления

распределения мультиномиального максимума может быть применена аппроксимация в виде непрерывной плотности распределения вероятности по Гумбелю; основной задачей при этом является определения математического ожидания B и среднеквадратического отклонения A функции распределения мультиномиального максимума с параметрами n, m – что выполняется с помощью компьютерных алгоритмов).

Упрощенное выражение для плотности распределения вероятности суммарного времени до восстановления (с учетом мультиномиального распределения вероятности отказов) получено путем разложения подинтегральной функции в предыдущей формуле в ряд Тейлора (с удержанием только первого члена ряда). Здесь c – ожидаемое значение количества отказов (вместо c здесь следует применить значение мат. ожидания B функции распределения мультиномиального максимума):

$$f(T) \approx \frac{\left(\frac{T}{\tau}\right)^{c-1}}{\tau \cdot \Gamma(c)} \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)$$

Переход к нормированному гамма-распределению (учитывая, что $T = c \times t$) с целью получения плотности распределения вероятности среднего времени t до восстановления дает выражение:

$$f(t) = \frac{c}{\tau \cdot \Gamma(c)} \left(\frac{ct}{\tau}\right)^{c-1} \exp\left(-\frac{ct}{\tau}\right)$$

На графике (рис. 6) показаны кривые плотностей вероятности суммарного времени до восстановления, где первая кривая получена путем компьютерного моделирования по формуле свертки, а вторая – по упрощенной формуле.

Здесь применялось распределение мультиномиального максимума в виде аппроксимации по Гумбелю с параметрами $n = 1024, m = 128$; при этом $B = 16,352$ и $A = 1,4053$.

»»

Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	СУММА
r	20143	81351	75997	117232	167919	158794	145796	767232
T_B	346701,3	1695436	975497,5	1626008	2290079	2209460	1616590	10759771,8
t_B	17,212	20,841	12,836	13,87	13,638	13,914	11,088	14,024

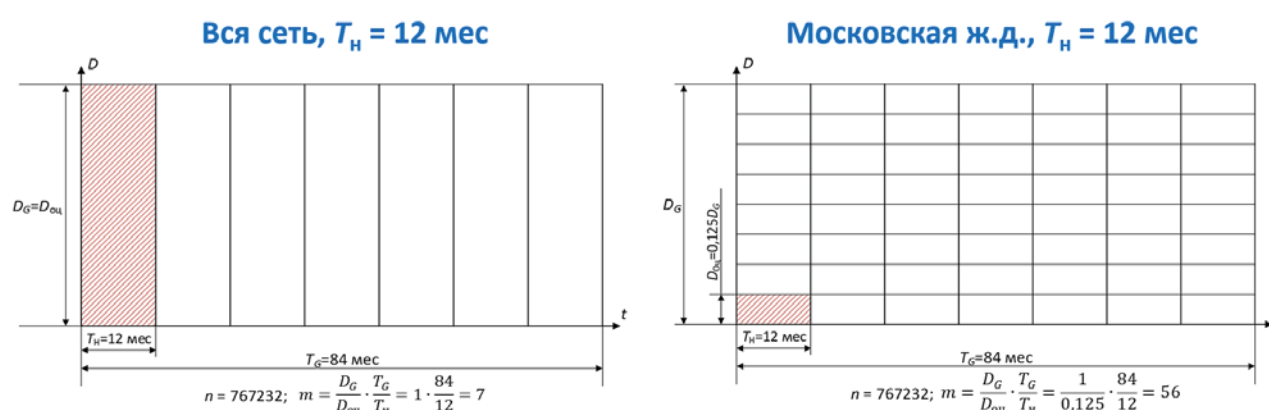


Рисунок 7. Определение размерности части объекта и интервала наблюдения

7.4. Пример нормирования показателей надежности большой системы

Исходные данные для нормирования показателей надежности представлены для объекта «верхнее строение пути», «вся сеть» в виде количества отказов технических средств 3 категории за 7 годовых интервалов (с 2014 по 2020 г.), то есть 84 месяца, и суммарного времени до восстановления за эти же годовые интервалы.

Для примера выберем два варианта (рис. 7):

- объект «верхнее строение пути», «вся сеть», интервал наблюдения 12 мес.;
- объект «верхнее строение пути», «Московская ж.д.», интервал наблюдения 12 мес.

Структура ячеек для первого варианта содержит 7 ячеек (то есть, $m = 7$), а для второго – 56 ячеек ($m = 56$), поскольку большой интервал наблюдения 84 мес. разделяется на 7 равных частей по 12 мес. Во втором варианте также и «вся сеть» разделяется на 8 одинаковых объектов, каждый из которых по размерности равен Московской железной дороге.

Параметры мультиномиального распределения: $n=767232$ (суммарное количество отказов объекта «вся сеть» за 84 месяца); $m=7$ или $m=56$ (количество ячеек) – вычисляется как обратная величина произведения доли размерности объекта оценки и доли интервала наблюдения.

С помощью обратных функций распределения мультиномиального максимума вычисляются значения квантилей (на графике приведены квантили с обеспеченностью 0,9 – 110 274 и 14 038; для справки: средние значения (n/m) равны соответственно 109 605 и 13 701, смещения от среднего составляют 0,61 % и 2,46 % – небольшие, т.к. количество отказов большое и размерность объекта сравнительно большая).

Плотности распределения суммарного времени до восстановления (рис. 8) получены на основе гамма-распределения с учетом распределения количества отказов. При этом ожидаемое значение времени до восстановления, согласно статистическим данным за 84 мес. наблюдений, принято равным 14 часам.

Плотности распределения среднего времени до восстановления (рис. 9) получены путем перехода к нормированному гамма-распределению. Здесь оба графика имеют одинаковое масштабирование.

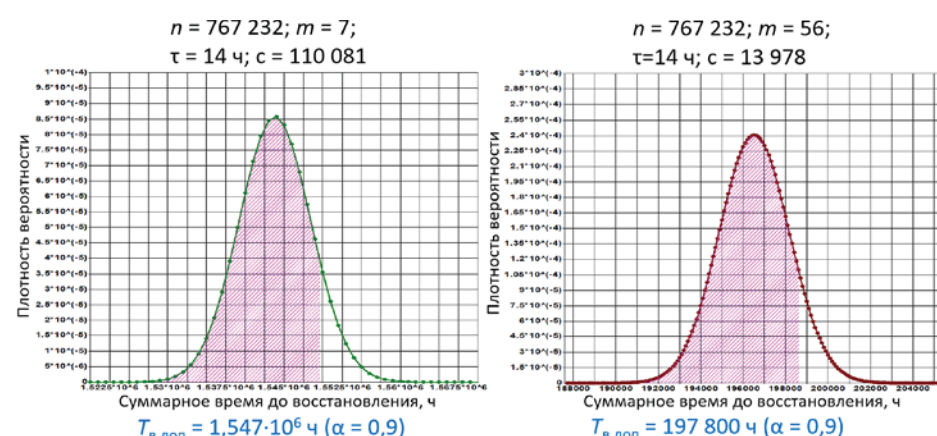


Рисунок 8. Плотности распределения суммарного времени до восстановления

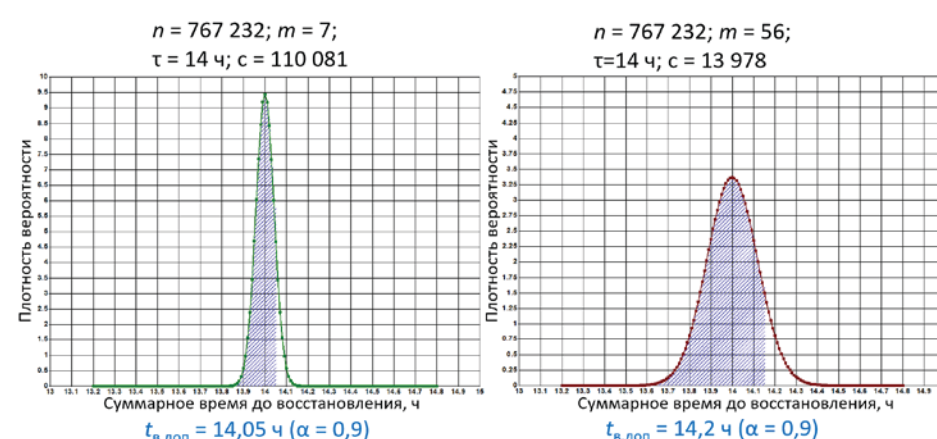


Рисунок 9. Плотности распределения среднего времени до восстановления

Из графиков видно, что с уменьшением размерности объекта дисперсия увеличивается (то же относится и к уменьшению величины интервала наблюдения).

Результаты нормирования показателей надежности получены из допустимых значений количества отказов и суммарного времени до восстановления с применением формул для расчета эксплуатационных показателей:

Верхнее строение пути, вся сеть, интервал 12 мес. (ОТС 3 кат.)	Верхнее строение пути, Московская железная дорога, интервал 12 мес. (ОТС 3 кат.)
$t_{в.доп} = 14,05$ ч	$t_{в.доп} = 14,2$ ч
$f_{доп}^* = \frac{r_{доп}}{T_H} = \frac{110274}{8760} = 12,588$ 1/ч	$f_{доп}^* = \frac{r_{доп}}{T_H} = \frac{14038}{8760} = 1,6025$ 1/ч
$K_{э.доп}^* = \frac{T_H}{T_H + T_{в.доп}} = \frac{8760}{8760 + 1,547 \cdot 10^6} = 0,00563$	$K_{э.доп}^* = \frac{T_H}{T_H + T_{в.доп}} = \frac{8760}{8760 + 197800} = 0,0424$



Список литературы

1. Озеров, А. В. Техническое зрение в современной системе управления движением поездов / А. В. Озеров, А. Л. Охотников // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2023. – С. 620-625. – DOI 10.30932/9785002182794-2023-620-625. – EDN JKXFVK.
2. Оценка безопасности и бесперебойности работы системы управления маневровым локомотивом с техническим зрением / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг, И. А. Панферов [и др.] // Надежность. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 30-37. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-1-30-37. – EDN IMFXZO.
3. Система калибровки для бортовых систем технического зрения / С. В. Кудряшов, П. А. Попов, М. Г. Меткий, К. Г. Фуярчук // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 5. – С. 31-33. – EDN BJDFEX.
4. Распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочных горках / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1(64). – С. 52-61. – DOI 10.52170/1815-9265_2023_64_52. – EDN DWANWS.
5. Махутов, Н. А. Стратегические риски в сложной социально-природно-техногенной системе / Н. А. Махутов // Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 26–27 апреля 2022 года / Российская академия наук, Международный независимый эколого-политологический университет, Государственный университет управления. Том Выпуск 1. – Москва: Государственный университет управления, 2022. – С. 70-76. – EDN HSRPJF.
6. ГНТП «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф»: концепция и итоги работы 1991-1992 гг., гл. редактор Н.А. Махутов. – М.: ВИНТИ, 1993. – 349 с
7. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и технические аспекты. – М.: МГОФ «Знание», т.т. 1-64, 1998 – 2022.
8. Стратегические риски России: оценка и прогноз. Под ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 379 с.
9. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400.
10. Новожилов, Е. О. Нормирование количества отказов сложного объекта с применением мультиномиального распределения / Е. О. Новожилов // Надежность. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 4-12. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-1-4-12. – EDN VTIZBA.
11. Бочков, А. В. Определение априорного распределения наработки на отказ уникальных высокоответственных элементов экспертным методом / А. В. Бочков // Надежность. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 13-23. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-1-13-23. – EDN SUHLNQ.