

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Шубинский Игорь Борисович – доктор технических наук, профессор, эксперт Научного совета при Совете Безопасности РФ, заместитель руководителя Научно-технического комплекса АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Заместители главного редактора:

Вэй Куо – ректор и заслуженный профессор, профессор электротехники, компьютерного анализа данных, ядерной техники, городской университет Гонконга, Член Национальной инженерной академии США (Гонконг, Китай)

Шебе Хендрик – доктор естественных наук, главный эксперт по надежности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности, TÜV Rheinland InterTraffic (Кёльн, Германия)

Ястребенецкий Михаил Анисимович – доктор технических наук, профессор, начальник отдела Национальной академии наук Украины «Государственный научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности» (Харьков, Украина)

Ответственный секретарь:

Замышляев Алексей Михайлович – доктор технических наук, заместитель Генерального директора АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Технический редактор:

Новожилов Евгений Олегович – кандидат технических наук, начальник отдела АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Председатель редакционного совета:

Розенберг Игорь Наумович – доктор технических наук, профессор, научный руководитель АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Сопредседатель редакционного совета:

Махутов Николай Андреевич – доктор технических наук, профессор, член – корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова, председатель Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности (Москва, РФ)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Аврамович Зоран Ж. – доктор технических наук, профессор, профессор Института транспорта Университета г. Белград (Белград, Сербия)

Баранов Леонид Аврамович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управления и защиты информации» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва, РФ)

Бочков Александр Владимирович – доктор технических наук, заместитель руководителя Научно-технического комплекса АО «НИИАС» (Москва, РФ)

Бочков Константин Афанасьевич – доктор технических наук, профессор, научный руководитель – заведующий НИЛ «Безопасность и ЭМС технических средств (БЭМС ТС), УО «Белорусский государственный университет транспорта» (Гомель, Белоруссия)

Боян Димитров – профессор, доктор математических наук, профессор теории вероятности и статистики, университет Кеттеринга, Флинт (Мичиган, США)

Гапанович Валентин Александрович – кандидат технических наук, президент НП «Объединение производителей железнодорожной техники» (Москва, РФ)

Каштанов Виктор Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, профессор департамента прикладной математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Москва, РФ)

Климов Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор, начальник управления 4 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны РФ (Москва, РФ)

Кофанов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Москва, РФ)

Кришнамурти Ачътха – доктор физико-математических наук, профессор, почетный профессор Департамента математики Университета науки и технологий (Кочин, Индия)

Лецкий Эдуард Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва, РФ)

Манджей Рам – профессор, доктор, отделение математики, вычислительной техники и технических наук, Университет Graphic Era, (Дехрадун, Индия)

Нетес Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) (Москва, РФ)

Папич Любиша – доктор технических наук, профессор, директор Исследовательского центра по управлению качеством и надёжностью (DQM), (Приевор, Сербия)

Поляк Роман А. – доктор физико-математических наук, профессор, приглашенный профессор Школы математических наук технологического Университета Технион (Хайфа, Израиль)

Соколов Борис Владимирович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), (Санкт-Петербург, РФ)

Уткин Лев Владимирович – доктор технических наук, профессор, директор высшей школы прикладной математики и вычислительной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Санкт-Петербург, РФ)

Юркевич Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор, Главный научный сотрудник лаборатории Технической диагностики и отказоустойчивости ИПУ РАН. (Москва, РФ)

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Журнал «Надежность»

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9782 от 11 сентября 2001 года.

Официальный печатный орган Российской академии надежности

Издатель журнала

ООО «Журнал «Надежность»

Генеральный директор

Дубровская А.З.

Адрес: 109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д. 27, стр. 1, оф. 209

ООО «Журнал «Надежность»

www.dependability.ru

Отпечатано в ООО «Отмара. нет». 107140,

г. Москва, Верхняя Красносельская, 2/1, стр. 2, этаж 2, пом II, ком. 2А, 2Б

Подписано в печать 21.06.2021

Объем , Тираж 500 экз, Заказ №

Формат 60x90/8, Бумага глянцев

Журнал издается ежеквартально с 2001 года, стоимость одного экземпляра 1045 руб., годовой подписки 4180 руб., телефон редакции 8 (495) 967-77-05, e-mail: dependability@bk.ru

Статьи рецензируются.

Статьи опубликованы в авторской редакции.

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ УЧАСТИИ И ПОДДЕРЖКЕ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ» (АО «НИИАС»)

СОДЕРЖАНИЕ

Системный анализ в задачах надежности и безопасности

Нетес В.А. Коэффициент сохранения эффективности и его стандартизация	3
Тарарычкин И.А. Особенности развития процесса повреждения сетевых структур систем трубопроводного транспорта	9
Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Балакина Е.П., Логинова Л.Н. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения.....	17

Дискуссия по терминологии надежности

Шебе Х., Шубинский И.Б. Ошибки, неисправности и отказы.....	24
Зеленцов Б.П. Предложения по совершенствованию терминологии в области надежности	28

Безопасность. Управление рисками. Теория и практика

Озеров А.В., Ольшанский А.М. О построении модели безопасности сложной автоматической системы транспортного обслуживания	31
Злобин В.А. Закономерности распространения возгораний и взрывов боеприпасов на стационарных объектах хранения.....	38
Дубовский В.А., Дубовская Н.И., Николаев А.С. Риск-ориентированный подход к реализации контрактов жизненного цикла вооружения и военной техники.....	46
Гнеденко – Форум	53

Коэффициент сохранения эффективности и его стандартизация

Виктор А. Нетес, Московский технический университет связи и информатики, Москва, Российская Федерация
v.a.netes@mtuci.ru



Виктор А. Нетес

Резюме. Цель. Способствовать лучшему пониманию, более широкому и правильному применению коэффициента сохранения эффективности. Он является наиболее подходящим показателем для оценки надежности сложных технических систем, в которых возможны частичные отказы, переводящие систему в состояния, промежуточные между полной работоспособностью и полной неработоспособностью. **Методы.** В статье применяются методы теории вероятностей и сравнительный анализ текстов межгосударственных, российских и международных стандартов по надежности. **Результаты.** Указан определяющий вклад российских исследователей в создание и развитие методов применения показателей эффективности для оценки надежности сложных систем. Выявлены недостатки в базовых стандартах по надежности, касающиеся коэффициента сохранения эффективности и смежных понятий. Именно, в терминологическом ГОСТ 27.002–2015 указаны формулировки, требующие уточнения. Они касаются понятий частичный отказ, частично работоспособное состояние и частично неработоспособное состояние. Предложено более широкое и точное определение частичного отказа. Отмечена необходимость обсуждения и уточнения соотношения между частично работоспособным и частично неработоспособным состояниями. В ГОСТ 27.003–2016, устанавливающем состав и общие правила задания требований по надежности, указаны ошибки в формулировках при классификации объектов по числу возможных (учитываемых) состояний и в примерах возможных модификаций коэффициента сохранения эффективности в различных отраслях техники, являющихся вероятностями выполнения задачи, задания и т.п. В статье предложены исправления в соответствующие формулировки. Установлено, что хотя коэффициент сохранения эффективности и отсутствует в международном терминологическом стандарте по надежности (IEC 60050-192:2015), фактически он неявно возникает в двух стандартах МЭК (IEC 61703:2016 и IEC 62673:2013), в которых отнесен к показателям готовности. **Заключение.** Результаты статьи будут полезны специалистам, занимающимся оценкой надежности сложных технических систем и стандартизацией в области надежности. Их реализация позволит улучшить межгосударственные, российские и международные стандарты по надежности.

Ключевые слова: сложная система, надежность, частичный отказ, коэффициент сохранения эффективности, выходной эффект, межгосударственные, российские и международные стандарты.

Для цитирования: Нетес В.А. Коэффициент сохранения эффективности и его стандартизации // Надежность. 2021. №2. С. 3-8. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-3-8>

Поступила 12.02.2021 г. / После доработки 12.04.2021 г. / К печати 21.06.2021 г.

Введение

Традиционные показатели надежности, характеризующие безотказность и готовность, определяются в предположении, что технический объект может находиться в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном. Однако для многих сложных систем характерны частичные отказы, которые переводят объект в промежуточное состояние с пониженной (частичной) работоспособностью. Основным показателем надежности для таких систем служит коэффициент сохранения эффективности (КСЭ), которому посвящен целый ряд публикаций, указанных ниже.

Цель данной статьи – способствовать лучшему пониманию КСЭ, его более широкому и правильному применению. Она адресована специалистам, занимающимся оценкой надежности сложных систем и стандартизацией надежности. В ней анализируется, в какой мере и насколько верно отражен КСЭ в принятых за последние годы межгосударственных, российских и международных стандартах. Рассмотрены также тесно связанные с КСЭ понятия частичный отказ и частично (не)работоспособное состояние. Проведенный анализ выявил недостатки, присущие этим стандартам, в статье даются предложения по их устранению.

История вопроса

Необходимость рассмотрения систем, имеющих более двух уровней работоспособности, стала ясна еще в 60-е годы прошлого века. Об этом упоминалось в классической монографии [1]. В частности, там указано, что «понятие отказа, связанное с полной или существенной потерей работоспособности [сложной] системы, выглядит весьма искусственным. <...> В таких случаях под надежностью системы следует понимать стабильность эффективности с учетом надежности частей, составляющих систему» [1, с. 84]. Однако дальше эта идея там развита не была, и в общей математической модели для определения показателей надежности в фазовом пространстве выделялось множество неработоспособных состояний.

Заслуга начала систематического изложения методов расчета эффективности принадлежит И.А. Ушакову [2]. Он также много сделал для популяризации этого направления. Соответствующие разделы были включены в известные справочники [3–6]. Однако в его публикациях речь шла об абсолютных значениях эффективности, определяемых с учетом надежности, при этом остальные факторы, влияющие на эффективность, практически не рассматривались. Уже позже И.А. Ушаков пришел к целесообразности рассмотрения безразмерного коэффициента, который показывает относительное снижение эффективности функционирования системы за счет отказов ее элементов [7, с. 131], т.е. фактически КСЭ.

Первой книгой, в которой обстоятельно рассматривался именно КСЭ, была [8]. Ее хорошо дополняет [9],

где описана оценка КСЭ расчетно-экспериментальным методом. Эти книги не потеряли актуальность и по сей день, их можно рекомендовать всем, интересующимся этой темой. Обзор дальнейших результатов, посвященных расчету и оценке КСЭ, был представлен в [10].

Определение и смысл КСЭ

КСЭ присутствует в отечественных терминологических стандартах по надежности, начиная с 1983 г. За это время его определение мало менялось, и в ныне действующем стандарте [11] оно формулируется так: отношение значения показателя эффективности использования объекта по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают. В международных стандартах этого показателя в явном виде нет.

Если обозначить показатель эффективности использования объекта E , а его номинальное значение – E_0 , то соотношение, определяющее КСЭ, обозначаемый $K_{эф}$, выглядит так: $K_{эф} = E/E_0$. Стоит подчеркнуть, что данная формула дает именно определение КСЭ, а отнюдь не метод его расчета на практике [8].

Под эффективностью применения объекта по назначению понимают его свойство создавать некоторый полезный результат (выходной эффект) в течение периода эксплуатации в определенных условиях [12]. При этом выходной эффект определяется как полезный результат, получаемый при эксплуатации объекта. Он может определяться различным образом. В частности, выходной эффект может представлять собой доход, получаемый при работе объекта, и выражаться в денежных единицах. Однако чаще для него используют натуральные измерители. Ниже приведены примеры выходного эффекта для разных типов систем:

- производственные системы – количество выпущенной продукции (в штуках, тоннах, кубометрах, гектолитрах и т.п.);
- разнообразные системы обслуживания – число успешно обслуженных пользователей или заявок;
- транспортные системы – количество перевезенных грузов (в тоннах, кубометрах и т.п.) или число перевезенных пассажиров;
- системы передачи, сбора или обработки информации – количество переданной, собранной или обработанной информации.

Обычно в качестве показателя эффективности используется математическое ожидание (среднее значение) выходного эффекта. Смысл КСЭ достаточно прост: пусть, например, в качестве выходного эффекта берется доход, а $K_{эф} = 0,98$, это означает, что доход, приносимый объектом, снижается из-за отказов в среднем на 2 %.

Кроме того, в качестве показателя эффективности может быть взята вероятность выполнения объектом задачи (задания и т.п.). Это имеет смысл для объектов

многократного циклического применения и однократного применения [12]. Вероятность выполнения задачи также может быть представлена как математическое ожидание выходного эффекта. В самом деле, если принять выходной эффект равным 1 в случае решения задачи и 0 в противном случае, то математическое ожидание такой случайной величины равно вероятности того, что она принимает значение 1, т.е. вероятности выполнения задачи. В такой ситуации КСЭ приобретает непосредственный вероятностный смысл: он равен вероятности того, что выполнение задачи не будет сорвано из-за отказов [8].

КСЭ может применяться и для объектов, все состояния которых могут быть однозначно разделены на работоспособные и неработоспособные. При этом он обычно сводится к таким традиционным показателям надежности, как коэффициент готовности, вероятность безотказной работы, коэффициент оперативной готовности [8]. Подход, основанный на применении КСЭ, в таких ситуациях облегчает правильный выбор нормируемых показателей.

Частичный отказ, частично работоспособное и частично неработоспособное состояния

Как уже отмечалось, КСЭ в первую очередь нужен для систем, в которых возможны частичные отказы. Это понятие вводится в [11] в примечании к термину «отказ», где сказано, что частичный отказ характеризуется переходом объекта в частично неработоспособное состояние. К сожалению, в [11] отсутствует объяснение, что это значит, однако есть понятие «частично работоспособное состояние» – состояние объекта, в котором он способен выполнять одни функции и одновременно не способен выполнять другие. Оно дано в примечании к терминам «работоспособное состояние» и «неработоспособное состояние». Таким образом, налицо некоторая нестыковка.

Вопрос о соотношении частично работоспособного и частично неработоспособного состояний можно решать по-разному. По мнению автора, это по сути одно и то же. Например, если в каком-то состоянии выходной эффект составляет 70 % от максимального значения, то это состояние будет на 70 % (частично) работоспособным и на 30 % (частично) неработоспособным. Это можно интерпретировать как фазификацию критерия отказа, т.е. разделение всего множества состояний объекта на два дополняющих друг друга нечетких подмножества работоспособных и неработоспособных состояний (впервые эта идея была высказана в [13]). Вместе с тем, некоторые авторы различают частично работоспособное и частично неработоспособное состояния, считая, что первое ближе к работоспособному, а второе – к неработоспособному [14, с. 53]. Поэтому этот вопрос требует обсуждения и уточнения.

Кроме того, определения частичного отказа и частично (не)работоспособного состояния в [11]

восходят к международному терминологическому стандарту [15] и применимы только к многофункциональным объектам. Однако эти понятия имеют смысл рассматривать и для объектов, выполняющих одну функцию. Например, технологическая система может работать с пониженной производительностью. Поэтому соответствующие формулировки стоит скорректировать. В частности, определить частично (не) работоспособное состояние как состояние объекта с пониженной способностью функционировать как требуется, характеризующееся потерей способности выполнять некоторые, но не все, требуемые функции или снижением выходного эффекта. Это будет близко к определению термина «деградированное состояние» (degraded state) в [15].

ГОСТ 27.003–2016

Состав и общие правила задания требований по надежности устанавливает стандарт [12]. Среди показателей надежности, используемых в нем, есть и КСЭ. Этот стандарт принят взамен [16] и во многом повторяет его основные положения. К сожалению, среди внесенных в [12] изменений есть не только позитивные, но и ошибочные.

Начнем с изменений в лучшую сторону. Если в [16] говорится об изделиях, то [12] используется уже более общий термин «объект» (хотя эта замена выполнена не везде, и в тексте еще встречается слово «изделие»). Соотношение между этими двумя понятиями было подробно проанализировано в [17], поэтому здесь этот вопрос не рассмотрен. В [12] добавлены полезные примечания, поясняющие, что понимается под эффективностью, и определение выходного эффекта (они были приведены выше).

С другой стороны, в одном из пунктов [12], важном для понимания области применения КСЭ, допущена досадная ошибка. Кратко она уже упоминалась в [18]. Дело в том, что среди основных признаков, по которым подразделяют объекты при задании требований по надежности, есть число возможных (учитываемых) состояний объекта по работоспособности в процессе эксплуатации. По этому признаку в [16] выделялись изделия вида I, которые в процессе эксплуатации могут находиться в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном, и вида II, которые, кроме указанных двух состояний, могут находиться в некотором числе частично неработоспособных состояний, в которые они переходят в результате частичного отказа. В [12] отказались от безликого разделения на виды, обозначаемые римскими цифрами, но в соответствующем пункте стандарта (п. 6.3.2) возникла бессмысленная формулировка о том, что объекты подразделяют на объекты, находящиеся в работоспособном состоянии, и объекты, находящиеся в неработоспособном состоянии.

Правильная формулировка этого пункта такова: по числу возможных (учитываемых) состояний (по рабо-

тоспособности) объекты подразделяют на: объекты, которые в процессе эксплуатации могут находиться в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном, и объекты, которые, кроме указанных двух состояний, могут находиться в некотором числе частично (не)работоспособных состояний, в которые они переходят в результате частичного отказа.

Дополнительные объяснения, касающиеся КСЭ, приведены в приложении А, которое сохранено таким же, как в [16]. В нем сказано, что КСЭ представляет собой обобщенное наименование группы показателей, применяемых в различных отраслях техники и имеющих собственные наименования, обозначения и определения. К сожалению, среди примеров ошибочно указаны несколько вероятностных показателей: «вероятность выпуска заданного количества продукции определенного качества за смену (месяц, квартал, год)» для технологических систем, «вероятность выполнения программы полета» космическим аппаратом, «вероятность выполнения типовой задачи (полетного задания) за заданное время» самолетом. Ошибка в том, что следует различать надежность и способность выполнять задачу (программу, задание и т.п.), этот вопрос был детально разобран в [19]. Действительно, способность объекта выполнять задачу может зависеть от факторов, не имеющих отношение к его надежности. Например, самолет при полной исправности может не выполнить задачу (полетное задание) из-за неблагоприятных погодных условий или неправильных действий наземных служб. Вместе с тем, как было указано выше, вероятность выполнения задачи (программы, задания и т.п.) может служить показателем эффективности, используемым при определении КСЭ.

ГОСТ Р 27.010–2019 (МЭК 61703:2016) и ИЕС 62673:2013

Стандарт [20] разработан на основе стандарта МЭК [21] и является его модифицированной версией. Он содержит п. 6.1.2.4, озаглавленный «Расширение понятия коэффициента готовности на объекты с несколькими состояниями». В нем рассматриваются системы, состояния которых, как сказано, «невозможно разделить только на работоспособное и неработоспособное, а необходима более точная классификация». Отмечается, что «это особенно часто имеет место для производства продукции, в том числе нефти, газа, электричества, воды и т.д.». Для таких систем определяется показатель, про который написано, что он «является обобщением среднего коэффициента готовности и математического ожидания производительности, его часто называют «производственной готовностью» системы. Более широко его также называют результативностью объекта». Приводится простой пример производственной системы, для которой делается расчет такого показателя и обычного коэффициента готовности.

При этом в стандарте дается ссылка на монографию [22]. В предисловии к этой книге авторы выражают признательность учителю и другу И.А. Ушакову, однако при изложении основных понятий, относящихся к системам со многими состояниями, из его работ использован только один пример, взятый из [6].

Фактически, рассматриваемый в указанном пункте [20, 21] показатель является КСЭ. К сожалению, в [20] этот факт даже не упоминается. Понятно, что [20] создан на основе стандарта МЭК. Однако он является модифицированным стандартом, изменения состоят в том, что ссылки на международные стандарты заменены ссылками на национальные стандарты. Указанный выше п. 6.1.2.4 также следовало бы изменить, указав, что речь идет о КСЭ. При этом ссылку на [22] стоило заменить ссылкой на отечественную публикацию по этой теме, лучше всего [8].

Вообще, в [20] надо было внести и другие изменения в список библиографии. Американское издание [1] на английском языке следовало заменить оригинальным русским изданием. Ряд книг из списка были переведены на русский язык (Р. Барлоу и Ф. Прошана, В. Феллера, Д.Р. Кокса), для них стоило указать русские издания, что было бы гораздо удобнее для отечественных пользователей стандарта.

Попутно хочется высказать еще одно замечание, относящееся ко многим стандартам, созданным на основе международных стандартов. Это расхождение с другими стандартами по надежности в терминологии и обозначениях. В частности, в [20] коэффициент готовности обозначен A (от английского availability), хотя в нашей стране его традиционно обозначают K_r , что закреплено стандартом [12]; для объектов непрерывного длительного применения и многократного циклического применения вместо русских аббревиатур (НПДП и МКЦП [12]) использованы английские (COI и IOI) и т.п. В подобных ситуациях вслед за авторами [23] хочется воскликнуть «Чему верить?». Понятно, что тут возникает противоречие между принципами преемственности и близости к международным стандартам [24], однако разработчики стандартов должны находить в этих ситуациях разумные компромиссы. Для обозначений показателей надежности и видов объектов можно было, например, указать и международное, и русское обозначения (как это сделано для физических величин в [25]).

Еще один стандарт МЭК, в котором неявно появляется КСЭ, это [26] (с ним можно ознакомиться в [27]). Он посвящен надежности сетей связи, целесообразность применения КСЭ для которых была показана в [28–31]. В [26] рекомендуются два показателя: сетевая готовность из конца в конец (end-to-end) и готовность всей сети (full-end), предназначенные для оценки надежности с точки зрения конечных пользователей и оператора сети или поставщика услуг соответственно. Первый из них представляет собой коэффициент готовности направления связи между парой узлов сети, второй же является

взвешенной суммой таких коэффициентов готовности для различных пар узлов и фактически оказывается КСЭ [27, 30, 31].

Заключение

Одним из достижений российской школы надежности, о котором не следует забывать, является определение и разработка методов расчета и оценки КСЭ. Нашим представителям в ТК 56 МЭК следует предпринять усилия для включения этого показателя в международные стандарты, тем более что в неявном виде он в них уже присутствует. Решение этой задачи соответствует одной из целей, поставленных в ст. 3 ФЗ-162 «О стандартизации»: содействовать интеграции Российской Федерации в международные системы стандартизации в качестве равноправного партнера.

К сожалению, в межгосударственных стандартах есть неточности, касающиеся КСЭ. Именно, в ГОСТ 27.002–2015 следует уточнить формулировки, относящиеся к терминам «частичный отказ» и «частично (не)работоспособное состояние»; в ГОСТ 27.003–2016 требуется внести исправления в формулировки при классификации объектов по числу возможных (учитываемых) состояний и при указании примеров возможных модификаций КСЭ в различных отраслях техники, являющихся вероятностями выполнения задачи, задания и т.п. В статье для них предложены корректировки.

Российский стандарт ГОСТ Р 27.010–2019, разработанный на основе стандарта МЭК, не в полной мере согласуется с указанными выше базовыми стандартами по надежности и игнорирует отечественные наработки в области КСЭ. Вообще, говоря о создании российских и межгосударственных стандартов на основе международных, хочется привести слова И.А. Ушакова, написанные им при обсуждении проекта одного из таких документов: «Основная идея отечественного стандарта – не следовать слепо букве рекомендаций МЭК, а найти наиболее полное соответствие духу этих рекомендаций, но с неизменным отражением огромного отечественного опыта в теории и практике надежности и более чем полувековых традиций отечественной технической документации и научно-технической литературы». Это напутствие хочется адресовать всем разработчикам стандартов.

Библиографический список

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
2. Ушаков И.А. Эффективность функционирования сложных систем. – В кн.: О надежности сложных технических систем. М.: Сов. радио, 1966. С. 26–56.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Краткий справочник по расчету надежности радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1966. 432 с.

4. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975. 472 с.
5. Надежность технических систем: справочник / Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 606 с.
6. Handbook of Reliability Engineering / Ed. I.A. Ushakov. New York: John Wiley & Sons, 1994. 663 p.
7. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем. М.: Дрофа, 2008. 239 с.
8. Дзиркал Э.В. Задание и проверка требований к надежности сложных изделий. М.: Радио и связь, 1981. 176 с.
9. Резиновский А.Я. Испытания на надежность радиоэлектронных комплексов. М.: Радио и связь, 1985. 168 с.
10. Нетес В.А. Коэффициент сохранения эффективности – показатель надёжности сложных систем // Надежность. 2012. № 4. С. 14–23.
11. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. IV, 23 с.
12. ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2018. IV, 18 с.
13. Нетес В.А. Метод оценки надежности сложных систем и его применение к информационным сетям древовидной структуры // Сборник научных трудов ЦНИИС. 1976. Вып. 2. С. 17–23.
14. Надежность и техническое обслуживание АМТС с программным управлением / Под. ред. В.Г. Дедоборща и Н.Б. Суторихина. М.: Радио и связь, 1989. 320 с.
15. IEC 60050-192:2015. International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 192. Dependability.
16. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2007. 19 с.
17. Нетес В.А. Объект в надежности: определение и содержание понятия // Надежность. 2019. Т. 19. № 4. С. 3–7.
18. Нетес В.А. Как вернуть доверие? О системе стандартов «Надежность в технике» // Стандарты и качество. 2019. № 2. С. 19–24.
19. Нетес В.А., Тарасьев Ю.И., Шпер В.Л. Как нам определить что такое «надежность» // Надежность. 2014. № 4. С. 3–14.
20. ГОСТ Р 27.010–2019 (МЭК 61703:2016). Математические выражения для показателей безотказности, готовности, ремонтнопригодности. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 80 с.
21. IEC 61703:2016. Mathematical Expressions for Reliability, Availability, Maintainability and Maintenance Support Terms.
22. Lisnianski A., Frenkel I., Ding Y. Multi-state System Reliability Analysis and Optimization for Engineers and Industrial Managers. London: Springer-Verlag, 2010. 393 p.
23. Ершов Г.А., Семериков В.Н., Семериков Н.В. Чему верить? О системе стандартов «Надежность в технике» // Стандарты и качество. 2018. № 8. С. 27–31.

24. Нетес В.А. Принципы стандартизации терминологии по надежности // Надежность. 2020. Т. 20. № 2. С. 19–23.

25. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М.: Стандартинформ, 2018. III, 27 с.

26. IEC 62673:2013. Methodology for Communication Network Dependability Assessment and Assurance.

27. Нетес В.А. Надежность сетей связи в стандартах МЭК // Вестник связи. 2014. № 2. С. 13–15.

28. Нетес В.А., Сметанин Л.Д. Применение коэффициента сохранения эффективности для анализа надежности средств связи // Электросвязь. 1988. № 12. С. 9–12.

29. Нетес В.А. Выбор показателей надежности сетей доступа // Первая миля. 2019. № 8. С. 52–55.

30. Netes V. Dependability measures for access networks and their evaluation // Proc. of the 26th Conf. of Open Innovations Association FRUCT, 2020. P. 352–358.

31. Netes V. Modern network technologies and dependability // Proc. of the 3d Intern. Science and Technology Conf. “Modern Network Technologies – 2020”. P. 104–113.

Сведения об авторе

Виктор Александрович Нетес – доктор технических наук, профессор кафедры «Сети связи и системы коммутации» Московского технического университета связи и информатики, Москва, Российская Федерация, e-mail: v.a.netes@mtuci.ru

Вклад автора в статью

Автором **Нетесом В.А.** проведен анализ межгосударственных, российских и международных стандартов по надежности в части определений и других формулировок, относящихся к коэффициенту сохранения эффективности и смежным понятиям (частичный отказ, частично работоспособное и частично неработоспособное состояния), выявлены имеющиеся в них недостатки и даны предложения по их устранению.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Особенности развития процесса повреждения сетевых структур систем трубопроводного транспорта

Игорь А. Тарарычкин, Луганский государственный университет им. В.Даля, Луганск, Украина
donbass_8888@mail.ru



Игорь А.
Тарарычкин

Резюме. Введение. Системы промышленного трубопроводного транспорта представляют собой сложные потенциально опасные инженерные объекты, обеспечивающие доставку потребителям заданных объемов целевого продукта. Развитие нештатных ситуаций, связанных с переходом в состояние неработоспособности некоторого количества трубопроводов, может привести к отключению от источника части или всех потребителей продукта. Если переход в состояние неработоспособности линейных элементов системы происходит в случайном порядке, то такой процесс изменения структуры сети называется прогрессирующим повреждением. Особую опасность прогрессирующее повреждение представляет в том случае, если при выполнении ремонтных работ отключается фрагмент системы или некоторая совокупность технологических трубопроводов. **Целью работы** является выявление закономерностей изменения стойкости трубопроводных систем при развитии процесса прогрессирующего повреждения и разработка практических рекомендаций по обеспечению стойкости таких систем в условиях эксплуатации и выполнения ремонтных операций. **Методы исследования.** Стойкость систем как способность противостоять развитию процесса прогрессирующего повреждения оценивалась при помощи показателя, представляющего собой среднюю долю трубопроводов, случайный переход которых в состояние неработоспособности приводит к отключению от источника всех потребителей продукта. Значения показателя стойкости устанавливались с использованием метода имитационного компьютерного моделирования. Структура сети и характер действующих внутрисистемных связей задавались при помощи матрицы смежности. **Результаты.** Повреждение структуры транспортной сети рассматривается как результат развития двухэтапного процесса. На этапе целевой трансформации из состава структуры, построенной на основе полного графа, целенаправленно исключаются линейные элементы с приведением сети к некоторому исходному состоянию. На втором этапе происходит трансформация исходной структуры в соответствии с механизмом прогрессирующего повреждения. Такой подход позволяет корректно оценивать изменение стойкости сложных сетевых структур и их способность противостоять развитию деструктивных процессов повреждения. Предложены расчетные характеристики, позволяющие прогнозировать поведение трубопроводных сетей в условиях возможного развития нештатных ситуаций. Показано существование предельных сетевых структур, которые оказываются весьма уязвимыми к возможному развитию прогрессирующего повреждения. **Выводы.** По мере развития процесса целевой трансформации способность вновь образованных сетевых структур противостоять развитию процесса прогрессирующего повреждения непрерывно снижается. Минимальный уровень стойкости трубопроводной системы к развитию процесса прогрессирующего повреждения наблюдается в случае приближения структуры сети к предельному состоянию. При подготовке ремонтных работ и плановом исключении из состава действующей трубопроводной системы некоторого количества линейных элементов следует оценивать близость структуры вновь образованного сетевого объекта к предельному состоянию, а также стойкость восстанавливаемой системы к возможному развитию процесса прогрессирующего повреждения.

Ключевые слова: система, трубопровод, структура, ремонт, повреждение, стойкость.

Для цитирования: Тарарычкин И.А. Особенности развития процесса повреждения сетевых структур систем трубопроводного транспорта // Надежность. 2021. №2. С. 9-16.
<https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-9-16>

Поступила 14.03.2021 г. / После доработки 30.04.2021 г. / К печати 21.06.2021 г.

Эксплуатация систем промышленного трубопроводного транспорта в условиях номинального функционирования связана с доставкой требуемых объемов целевого продукта от источника отдельным потребителям. Возможность эффективного управления транспортными потоками и достижение заданных технологических режимов обеспечивается за счет сложной сетевой структуры и наличия избыточных внутренних связей [1-4]. При этом указанные системы представляют собой инженерные объекты, состояние которых необходимо оценивать и выполнять соответствующие ремонтные операции [5-7].

Эксплуатация трубопроводных систем различного назначения [8-10] сопровождается развитием деградиционных процессов, которые определяют вероятность отказа отдельных структурных элементов [11]. Взаимодействие с окружающей средой реализуется в различных формах [12, 13] и создает риски, которые также необходимо учитывать и уметь оценивать [14].

В общем случае протекающие в системах процессы являются многофакторными, а их анализ и определение текущего состояния сетевых объектов представляет собой сложную инженерную задачу [15]. Возникновение нештатных ситуаций в этих условиях сопровождается выводом из эксплуатационного режима отдельных трубопроводов (линейных элементов) и внутрисистемным перераспределением транспортных потоков.

Если последовательный переход в состояние неработоспособности линейных элементов системы происходит в случайном порядке, то такой процесс изменения структуры сети называется прогрессирующим повреждением [16].

Прогрессирующее повреждение представляет собой опасный сценарий развития событий, при завершении которого от исходной транспортной сети остается набор не связанным между собой точечных элементов. Подобное состояние сетевого объекта характеризуется нуль-графом, т.е. графом с отсутствующими ребрами.

Достижение указанного состояния системы на практике по понятным причинам невозможно. Тем не менее, изучение свойств сетевых объектов в условиях последовательного разрыва системообразующих связей и уменьшения числа линейных элементов представляет практический интерес, а установленные закономерности процесса необходимо учитывать при планировании ремонта и обеспечении стойкости восстанавливаемых трубопроводных транспортных систем.

Очевидно, что стойкость как способность системы противостоять развитию процесса прогрессирующего повреждения зависит от количества потребителей, узлов, линейных элементов и характера действующих между ними связей. Сравнение стойкости различных сетевых объектов возможно только при условии их сопоставимости, т.е. в случае, если имеет место совпадение числа:

- потребителей продукта;
- транспортных узлов;
- линейных элементов.

Это означает, что переход в состояние неработоспособности даже одного трубопровода не позволяет корректно сравнивать свойства исходной и вновь образованной системы из-за отличий в количественном составе линейных элементов.

Указанная особенность затрудняет анализ и оценку влияния структурных изменений на способность систем противостоять развитию процесса прогрессирующего повреждения. В этой связи возникает необходимость разработки новых методов оценки свойств и поведения транспортных систем в условиях развития прогрессирующего повреждения.

Имеющиеся в технической литературе данные о поведении трубопроводных систем при развитии аварийных ситуаций во многих случаях не достаточны для оценки ожидаемых последствий принятых проектных решений, что требует проведения дополнительных исследований.

Целью настоящей работы является выявление закономерностей изменения стойкости трубопроводных систем при развитии процесса прогрессирующего повреждения и разработка практических рекомендаций по обеспечению стойкости таких систем в условиях эксплуатации и выполнения ремонтных работ.

Структурные изменения транспортной сети как результат развития двухэтапного процесса

Предположим, что решение некоторой проектной задачи связано с необходимостью оценки стойкости к прогрессирующему повреждению сетевых структур, показанных на рис. 1. В составе каждой из них имеется источник продукта A , а также потребители B и C . При этом первая содержит 8, а вторая – 7 линейных элементов.

Если при развитии прогрессирующего повреждения в каждый момент системного времени в состояние неработоспособности переходит один линейный элемент, то сравнивать стойкость рассматриваемых объектов не корректно, поскольку диапазон возможного изменения значений системного времени у них не совпадает. По этой причине изучение связи между количеством линейных элементов в составе сети и стойкостью системы к прогрессирующему повреждению следует осуществлять на основе иного концептуального подхода.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Показанная на рис. 1б структура может быть представлена как результат некоторой трансформации, связанной с исключением одного линейного элемента из состава более сложной структуры, изображенной на рис. 1а.

Если рассматривать процесс прогрессирующего повреждения каждой из этих структур, то он будет происходить с разных стартовых позиций и характеризоваться различными значениями показателя стойкости.

При этом под показателем стойкости $0 \leq F_{пр} \leq 1$ понимается средняя доля трубопроводов, случайный переход

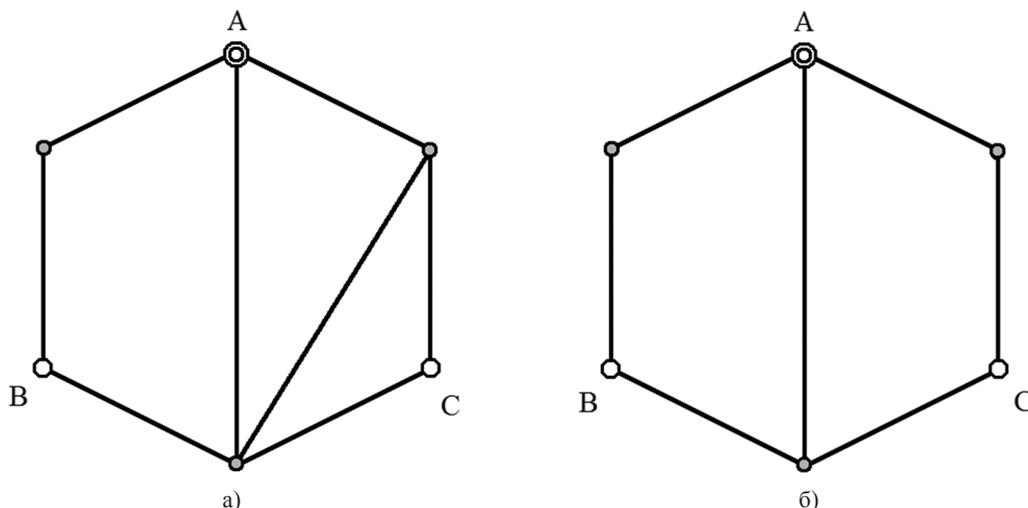


Рис. 1. Сетевые структуры трубопроводных систем с одинаковым количеством узлов и потребителей содержащие 8 (а) и 7 (б) линейных элементов

которых в состоянии неработоспособности приводит к отключению от источника всех потребителей целевого продукта [17].

В этой связи следует предположить, что большей стойкостью будет характеризоваться первая из указанных структур из-за наличия в ее составе большего числа линейных элементов.

С другой стороны, можно считать, что структура, показанная на рис. 1а представляет собой результат некоторого преобразования, связанного с трансформацией более сложной структуры, схема которой показана на рис. 2. Кроме того, возможно и дальнейшее усложнение структуры сетевого объекта, показанного на рис. 2, за счет образования новых связей. Если процедуру добавления связей продолжить, то полученный таким способом полный граф [18], у которого каждая вершина связана ребрами со всеми остальными, показан на рис. 3. Такая структура, построенная на основе полного графа, в дальнейшем называется базовой, а любой из рассмотренных вариантов сети представляет собой результат трансформации одной и той же базовой структуры.

С учетом отмеченной особенности, процесс повреждения произвольной сетевой структуры удобно рассматривать как протекающий в два этапа. На первом этапе исследователь выполняет целенаправленное исключение из состава сети, построенной на основе полного графа, некоторой части линейных элементов, осуществляя тем самым приведение базовой структуры к исходной. Поскольку именно исходная структура и является целью выполняемых преобразований, то с ее формированием завершается этап целевой трансформации.

На втором этапе трансформации разрыв связей между отдельными узлами полученной исходной структуры осуществляется в случайном порядке по механизму прогрессирующего повреждения.

Поскольку у структур с одинаковым числом узлов полный граф один и тот же, то и диапазон изменения значений системного времени при реализации двухэтап-

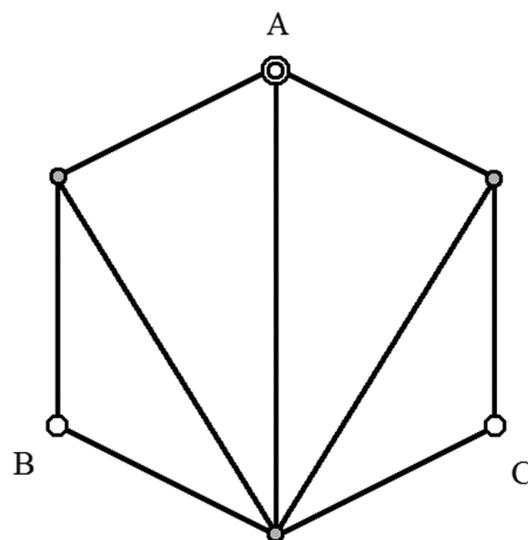


Рис. 2. Структурная схема трубопроводной системы

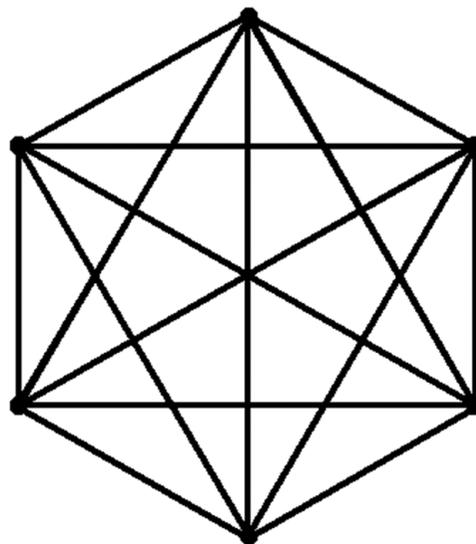


Рис. 3. Полный граф с 6-ю вершинами и 15-ю ребрами

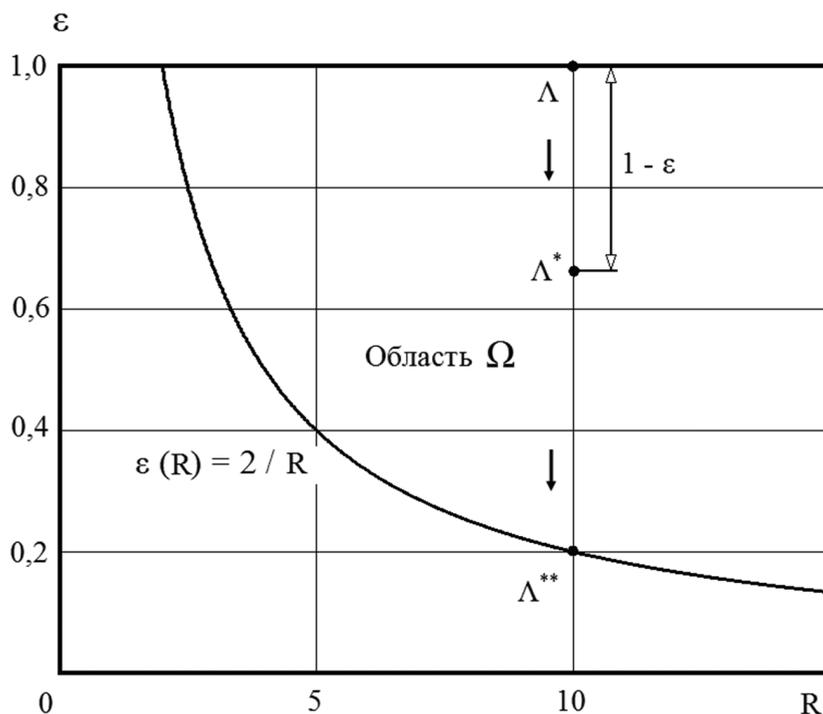


Рис. 4. Изменение положения точки Λ , характеризующей состояние сетевого объекта при развитии процесса целевой трансформации

ного процесса повреждения оказывается одинаковым. Наличие указанной особенности у сетевых структур с равным количеством узлов позволяет оценивать динамику процесса повреждения с единых стартовых позиций. Особое внимание здесь следует обратить на то обстоятельство, что корректное сравнение стойкости сетевых объектов в рамках реализации разработанной концепции двухэтапного повреждения возможно только для одинаковых значений системного времени.

Поскольку каждый из перечисленных этапов повреждения имеет свои специфические особенности, то их следует рассмотреть и проанализировать отдельно.

Характеристики и особенности развития процесса целевой трансформации

При целевой трансформации реализуется процедура последовательного исключения из состава базовой сети, построенной на основе полного графа, некоторой совокупности связей с постепенным переходом к исходной (целевой) структуре.

Порядок разрыва системообразующих связей на этапе целевой трансформации задается исследователем или может быть произвольным. Для характеристики динамики этого процесса используется системное время t . По мере исключения из состава базовой структуры, построенной на основе полного графа, отдельных линейных элементов, системное время принимает целочисленные значения и представляет собой счетчик событий. Таким образом, перед началом развития процесса прогрессирующего повреждения исходная сетевая структура рассматривается как результат предварительно реализуемой

целевой трансформации базового объекта построенного на основе полного графа.

Известно, что полный граф при заданном числе вершин R имеет наибольшее количество ребер [19]:

$$Z_m = \frac{R \cdot (R-1)}{2}.$$

Тогда состояние исходной структуры, полученной в результате целенаправленного удаления из состава полного графа некоторого количества ребер, будет характеризоваться коэффициентом полноты связей ϵ . Коэффициент ϵ представляет собой отношение числа связей Z между вершинами графа исходной структуры к числу связей у полного графа с тем же количеством вершин:

$$\epsilon = \frac{Z}{Z_m} = \frac{2Z}{R \cdot (R-1)} \leq 1.$$

Таким образом, коэффициент ϵ представляет собой долю от общего количества связей в составе полного графа, которые необходимо разорвать, чтобы привести его к состоянию, соответствующему исходной сетевой структуре. Очевидно, что для любого полного графа, независимо от количества вершин в его составе $\epsilon = 1$.

В системе координат ϵOR процессу целевой трансформации полного графа и его переходу к исходной структуре будет соответствовать перемещение точки Λ через ряд промежуточных шагов в положение Λ^* (рис. 4).

Отметим также, что условие сохранения целостности сети при развитии целевой трансформации приводит к возникновению ограничений на нижний порог значений ϵ . Так, связь между числом линейных элементов Z и количеством узлов R для предельных структур с

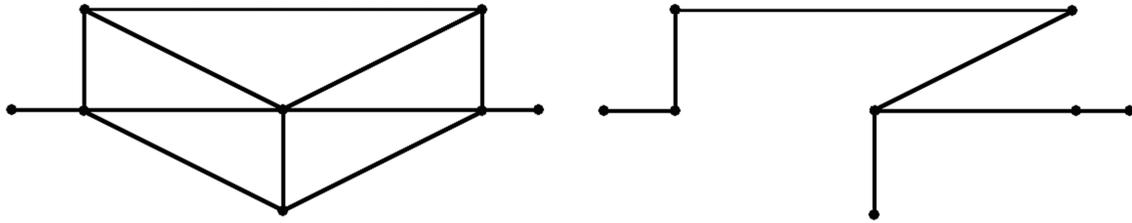


Рис. 5. Графы, характеризующие целостные сетевые структуры до (а) и после (б) целенаправленного исключения 5-ти линейных элементов

топологией «линия» имеет вид:

$$Z = R - 1. \tag{1}$$

Дальнейший разрыв связей между узлами такого объекта будет сопровождаться разделением его на части, что является недопустимым. Тогда условие сохранения целостности сети с учетом зависимости (1) приводит к ограничению вида:

$$\varepsilon(R) \geq \frac{2}{R}.$$

Соответственно интервал возможного изменения значений коэффициента ε определяется так:

$$\frac{2}{R} \leq \varepsilon(R) \leq 1.$$

Область Ω , для которой сочетание параметров ε и R соответствует указанным ограничениям и возможному существованию целостных структур после реализации процедуры целевой трансформации, показана на рис. 4.

Рассмотрим в этой связи следующий пример. Предположим, исходная структура сети характеризуется графом, показанным на рис. 5а. Он содержит 12 ребер и 8 вершин, являясь при этом результатом целевой трансформации полного графа, в составе которого имеется 8 вершин и 28 ребер.

В системе координат $\varepsilon \in R$ (рис. 6) такому полному графу соответствует точка Λ , а процесс целевой трансформации, завершающийся образованием исходной сетевой структуры, связан переходом этой точки в положение Λ^* к моменту системного времени $t = 16$.

Если полученная таким образом исходная структура с коэффициентом $\varepsilon = 0,43$ подвергается в дальнейшем прогрессирующему повреждению, то очевидно, что она будет характеризоваться и некоторой стойкостью к развитию этого процесса. Если же этап целевой трансформации продолжить до момента времени $t = 21$ с переходом в состояние, показанное на рис. 5б, то возможности такого процесса будут полностью исчерпаны.

Возникающая при этом предельная структура характеризуется точкой Λ^{**} , расположенной на границе области Ω (рис. 6). Дальнейшее исключение из состава такой структуры линейных элементов сопровождается разделением сетевого объекта на части или отделением узлов.

Таким образом, нижнее пороговое значение коэффициента $\varepsilon = \frac{2}{R} = 0,25$ является предельным, а его достижение в реальных условиях необходимо рассматривать как крайне нежелательное. Именно такое состояние сетевого объекта соответствует границе области Ω и является предельно допустимым с точки зрения его целостности.

Для определения близости текущего состояния сети к предельному, следует использовать соотношение:

$$\eta = \frac{R(R-1) - 2Z}{(R-1) \cdot (R-2)}.$$

Коэффициент η изменяется в интервале значений $0 \leq \eta \leq 1$. Для структуры, построенной на основе полного

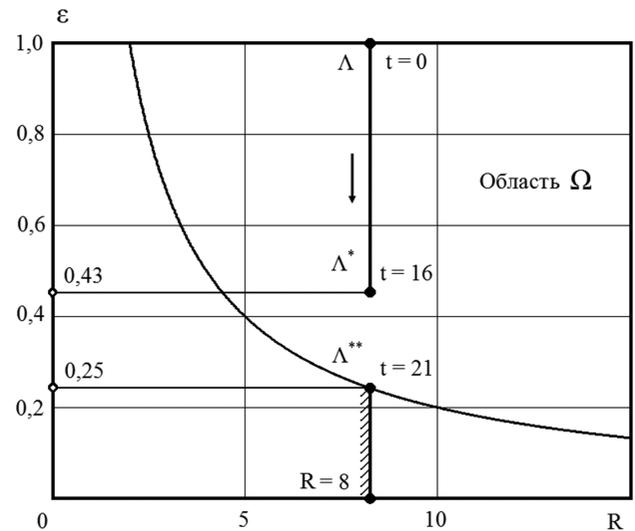


Рис. 6. Графическое представление развития процесса целевой трансформации

Табл. 1. Вербальная шкала свойств сетевой структуры

Интервал значений коэффициента η	$0 \leq \eta < 0,5$	$0,5 \leq \eta < 0,75$	$0,75 \leq \eta \leq 1$
Вербальная шкала свойств сетевой структуры	Стойкость к прогрессирующему повреждению обеспечивается на высоком уровне	Возможность обеспечения стойкости к прогрессирующему повреждению не высокая	Возможность обеспечения стойкости к прогрессирующему повреждению ограничена или весьма низкая

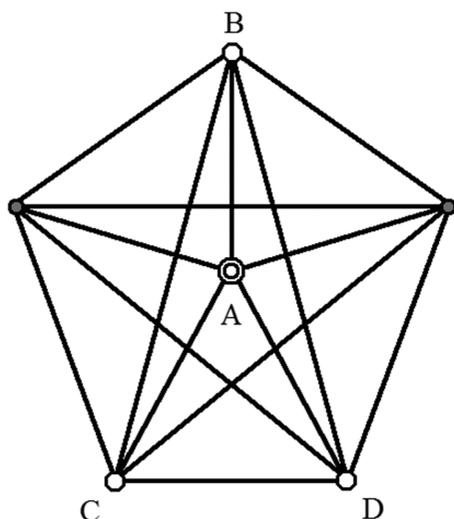


Рис. 7. Структура ST0 с источником A и потребителями B, C, D построенная на основе полного графа

графа, $\eta=0$, а на границе области Ω значение $\eta=1$. Диапазон возможного применения η целесообразно разбить на 3 интервала значений, в соответствии с данными табл. 1.

Таким образом, расчетное определение значений η для анализируемой сетевой структуры позволяет составить общее представление о ее способности противостоять развитию процесса прогрессирующего повреждения.

Характеристики и особенности развития процесса прогрессирующего повреждения

Рассматривая процедуру трансформации сети как развитие двухэтапного процесса, следует отметить, что наибольшей стойкостью к прогрессирующему повреждению обладает структура, построенная на основе полного графа. По мере того, как из состава такой базовой структуры постепенно исключаются линейные элементы, а процесс целевой трансформации развивается, способность возникающих при этом новых структурных объектов противостоять развитию прогрессирующего повреждения снижается.

Рассмотрим в этой связи, как происходит изменение стойкости сетевой структуры ST0, построенной на основе полного графа с источником продукта A и потребителями B, C, D (рис. 7) в условиях последовательного перехода к предельному состоянию с топологией «линия».

Исключив из состава системы 5 линейных элементов, получим новую структуру ST1, схематично показанную на рис. 8а. Для структуры с обозначением ST1 расчетное значение показателя стойкости $F_w = 0,769$. Если процесс целевой трансформации продолжить и исключить из состава системы еще 4 линейных элемента, то после

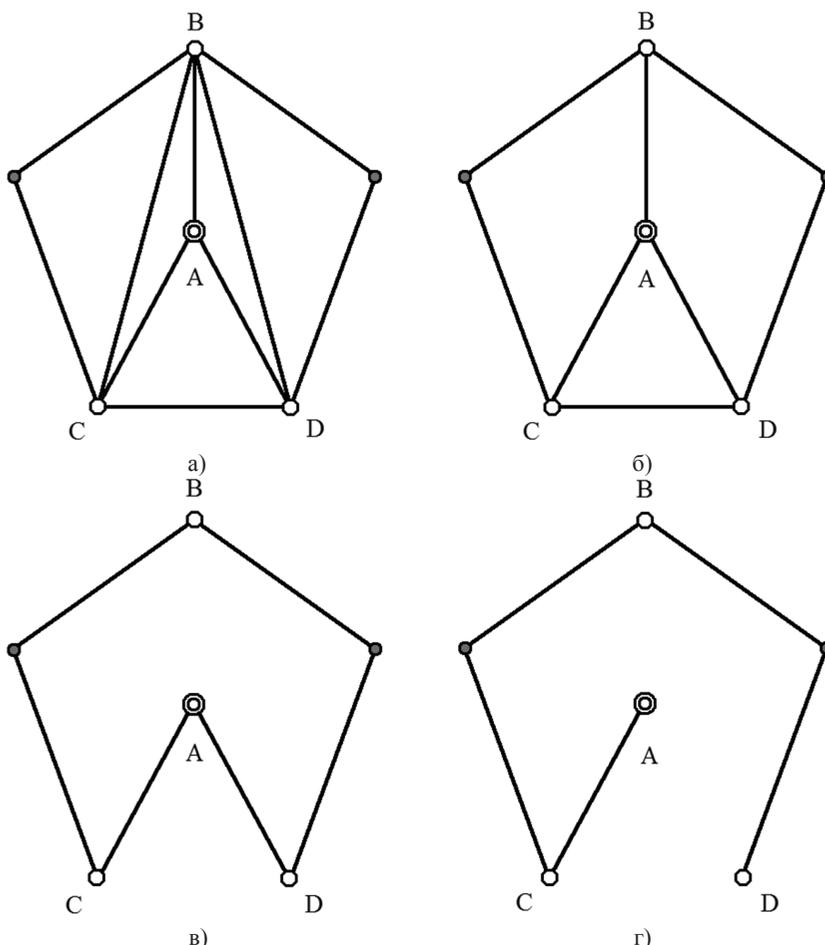


Рис. 8. Сетевые структуры с условным обозначением ST1 (а), ST2 (б), ST3 (в), ST4 (г)

Табл. 2. Характеристики сетевых структур

Условное обозначение сетевой структуры	Характеристики структур и процесса целевой трансформации						Примечание
	t	R	Z	ϵ	η	F_w	
ST0	0	6	15	1,0	0	0,800	Структура построена на основе полного графа
ST1	5	6	10	0,667	0,5	0,769	
ST2	7	6	8	0,533	0,7	0,720	
ST3	9	6	6	0,4	0,9	0,581	
ST4	10	6	5	0,333	1	0,377	Предельная сетевая структура

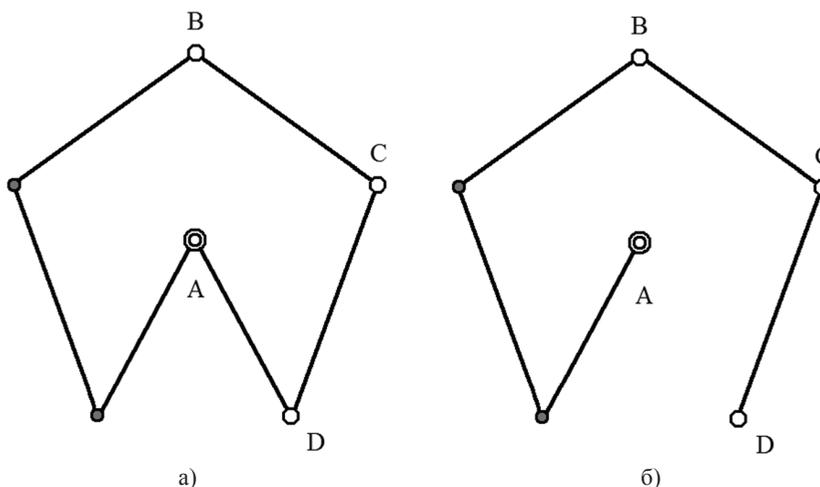


Рис. 9. Вариация структур ST3 (а) и ST4 (б) связанная с изменением положения узла – потребителя C

таких преобразований получится структура с условным обозначением ST2, которая представлена на рис. 8б, а ее расчетные характеристики приведены в табл. 2.

Дальнейшее исключение из состава системы еще двух линейных элементов приводит к образованию структуры ST3 с топологией «кольцо» (рис. 8в), после чего на этапе целевой трансформации можно удалить только один линейный элемент (рис. 8г).

В результате происходит образование предельной структуры ST4 с топологией «линия». Расчетные характеристики перечисленных сетевых структур также приведены в табл. 2. Видно, что наиболее существенное снижение значений показателя стойкости при реализации процесса целевой трансформации происходит в диапазоне значений $\eta = 0,7 \dots 1$, т.е. по мере приближения сетевой структуры к предельному состоянию.

Здесь необходимо отметить и следующую особенность. Для каждой из рассматриваемых структур существуют некоторые вариации, обусловленные возможными изменениями взаимного расположения узлов-потребителей, при соблюдении условия $\eta = \text{const}$.

Например, вариация структур ST3 и ST4 может быть связана с изменением положения узла-потребителя C (рис. 9) при неизменном значении коэффициента η . Представленные на рис. 10 интервальные оценки значений показателя стойкости получены с учетом погрешности вычислений, а также наличия некоторых

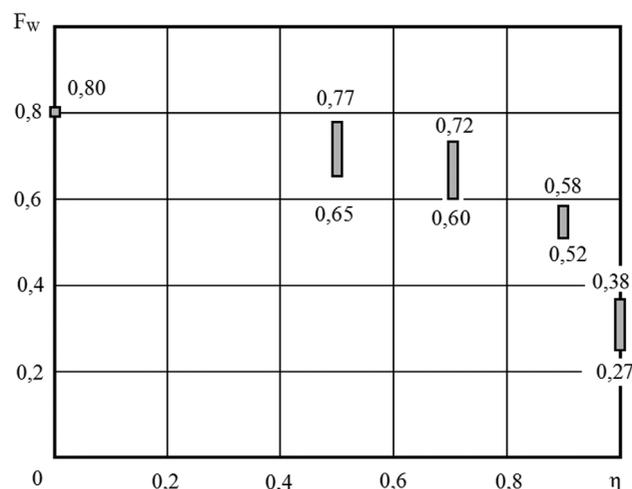


Рис. 10. Интервальные оценки значений показателя F_w для совокупности сопоставимых структур с фиксированными значениями коэффициента η

структурных вариаций для фиксированных значений коэффициента η .

Полученные результаты позволяют заключить, что избыточные внутрисистемные связи оказывают положительное влияние на стойкость трубопроводных систем к прогрессирующему повреждению, при этом характер такого влияния оказывается нелинейным. Наибольший положительный эффект от включения в состав системы

дополнительных связей наблюдается в том случае, если структура сети близка к предельной.

Выводы

1. По мере развития процесса целевой трансформации способность вновь образованных сетевых структур противостоять развитию процесса прогрессирующего повреждения непрерывно снижается.

2. Минимальный уровень стойкости трубопроводной системы к развитию процесса прогрессирующего повреждения наблюдается в случае приближения структуры сети к предельному состоянию.

3. При проведении ремонтных работ и связанном с этим исключением из состава действующей трубопроводной системы некоторого количества линейных элементов, следует оценивать близость структуры вновь образованного сетевого объекта к предельному состоянию, а также стойкость восстанавливаемой системы к возможному развитию процесса прогрессирующего повреждения.

Библиографический список

1. Murali Sambasivan, Sekar Gopal. Handbook of Oil and Gas Piping. A Practical and Comprehensive Guide. 2019, Taylor & Francis Group. 147 p.
2. Geoff Barker. The Engineer's Guide to Plant Layout and Piping Design for the Oil and Gas Industries. 2018, Elsevier Inc. 510 p.
3. Oil and Gas Pipelines. Integrity and Safety Handbook. Edited by R. Winston. 2015, John Wiley & Sons, Inc. 816 p.
4. Brian Silowash. Piping Systems Manual. 2010 by The McGraw-Hill Companies, Inc. 416 p.
5. Dennis P. Nolan. Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and Related Facilities. Fourth Edition. Gulf Professional Publishing. Elsevier Inc., 2019. 500 p.
6. Evgeny N. Barkanov, Andrei Dumitrescu, Ivan A. Parinov. Non-destructive Testing and Repair of Pipelines. Springer International Publishing AG, 2018. 451 p.
7. Bijan Kermani, Thierry Chevrot. Recommended practice for corrosion management of pipelines in oil and gas production and transportation. European Federation of Corrosion Publications. CRC Press. 2017. 110 p.
8. Alireza Bahadori. Oil and Gas Pipelines and Piping Systems. Design, Construction, Management, and Inspection. Elsevier Inc. 2017. 627 p.
9. Qiang Bai, Yong Bai, Weidong Ruan. Advances in Pipes and Pipelines. Flexible Pipes. Scrivener Publishing LLC. Published by John Wiley & Sons, Inc. 2017. 589 p.
10. Mojtaba Mahmoodian. Reliability and Maintainability of In-Service Pipelines. Gulf Professional Publishing publications. Elsevier Inc. 2018. 176 p.

11. Gabriella Bolzon, Giovanna Gabetta, Hryhoriy Nykyforchyn. Lecture Notes in Civil Engineering. Degradation Assessment and Failure Prevention of Pipeline Systems. Springer Nature Switzerland AG, 2021. 252 p.

12. A. Antoniou, A. Dimou, A. Markogiannakis, P. Karvelis. Design of Tanks Foundation and Onshore Pipeline Against Earthquakerelated Geohazards in a Coastal Area in Northern Greece. // Pipeline Technology Journal. 2020. № 3. P. 40-46.

13. D. Finley, S. Daniels, K. Kole, M. Roeleveld, P. Ogden. Trial of a Process for the Identification of Reduced Depth of Cover on Buried Pipelines // Pipeline Technology Journal. 2018. № 3. P. 42-47.

14. Ramesh Singh. Pipeline Integrity Handbook. Risk Management and Evaluation. Gulf Professional Publishing. Elsevier Inc, 2014. 308 p.

15. R. Ilkaev, V. Seleznev, V. Aleshin, G. Klishin. Numerical Simulation of Gas Pipeline Networks. Theory, Computational Implementation and Industrial Applications / Ed. by V.E. Seleznev. Moscow, KowKniga, 2005. 720 p.

16. Тарарычкин И.А., Блинов С.П. Имитационное моделирование процесса повреждения сетевых трубопроводных структур // Мир транспорта. 2017. Т. 15. № 2. С. 6-19.

17. Тарарычкин И.А. Стойкость ремонтируемых систем трубопроводного транспорта к повреждениям элементов сетевой структуры // Технологии нефти и газа. 2021. № 1. С. 41-47.

18. Омельченко А.В. Теория графов. М.: МЦНМО, 2018. 416 с.

19. Wilson R.J. Introduction to Graph Theory. Pearson Education Limited, 2010. 184 p.

Сведения об авторе

Игорь Александрович Тарарычкин – доктор технических наук, профессор, Луганский государственный университет им. В.Даля, Луганск, Украина, e-mail: donbass_8888@mail.ru

Вклад автора в статью

Автором предложена концепция двухэтапного повреждения сетевой структуры трубопроводной транспортной системы, позволяющая оценивать изменение стойкости ремонтируемых систем и возможные последствия структурных изменений при выполнении ремонтных работ. Получены необходимые расчетные зависимости, позволяющие прогнозировать поведение таких систем в случае возникновения нештатных ситуаций.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения

Леонид А. Баранов^{1*}, Валентина Г. Сидоренко¹, Екатерина П. Балакина¹, Людмила Н. Логинова¹

¹Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

*baranov.miit@gmail.com



Леонид А. Баранов



Валентина Г. Сидоренко



Екатерина П. Балакина



Людмила Н. Логинова

Резюме. Цель. В условиях современных мегаполисов обеспечение повышения использования пропускной способности, увеличение провозной способности линий внеуличного транспорта (метрополитен, скоростной трамвай, пригородные электропоезда, имеющие остановки внутри мегаполиса) при безусловном обеспечении безопасности движения реализуются интеллектуальными системами автоматического управления движением поездов. Целью данной статьи является выбор и обоснование принципов построения и структуры такой системы. **Методы.** Используя методы системного анализа, обоснованы принципы построения и структура системы. Применение генетических алгоритмов позволяет решать задачи автоматизации планирования движения поездов. Методы теории оптимального управления дают возможность выбирать энергоэффективные режимы управления движением поезда по перегону, распределять время хода по линии на времена хода по перегонам по критерию минимума энергозатрат, разрабатывать энергоэффективные плановые графики движения. Методы теории автоматического управления используются при выборе и обосновании алгоритмов управления движением поездов на различных функциональных уровнях, при построении экстраполяторов случайных возмущений, обеспечивающих минимизацию числа остановок поездов на перегонах. **Результаты.** Разработаны и обоснованы принципы построения и структура централизованной интеллектуальной иерархической системы автоматического управления движением поездов внеуличного городского транспорта. Описано распределение функции между уровнями иерархии, приведена совокупность подсистем, реализующих цель управления – обеспечение безопасности движения и комфорта пассажиров. Сформулированы и обоснованы критерии качества управления при компенсируемых и некомпенсируемых возмущениях. Рассмотрены алгоритмы управления движением и автоматизация построения планового графика движения. Показано место алгоритмов принятия решений в условиях неопределенности при использовании прогноза возмущений, генетических алгоритмов при автоматизации планирования движения поездов. Приведено описание принципов построения алгоритмов управления и планирования движения транспортных средств, обеспечивающих уменьшение расхода энергии на тягу поездов. Показана эффективность реализации централизованной интеллектуальной системы управления движением городского внеуличного транспорта, отмечена фундаментальная роль системы для цифровизации транспортного комплекса. **Заключение.** Рассмотренные принципы построения и алгоритмы функционирования системы интеллектуального централизованного управления движением внеуличного городского транспорта показали эффективность этих систем, определяемую следующим: повышение использования пропускной и увеличения провозной способности внеуличного городского транспорта; повышение энергоэффективности планирования и управления движением поездов; повышение безопасности движения; обеспечение оперативного управления движением во время чрезвычайных ситуаций и больших сбоев движения; повышение комфорта пассажиров.

Ключевые слова: централизованное управление, автономные системы, интеллектуальное управление, функциональные уровни, подсистемы, энергоэффективность, прогнозирование возмущений, генетические алгоритмы.

Для цитирования: Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Балакина Е.П., Логинова Л.Н. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения // Надежность. 2021. №2. С. 17-23. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-17-23>

Поступила 25.02.2021 г. / После доработки 15.04.2021 г. / К печати 21.06.2021 г.

Введение

К внеуличному городскому железнодорожному транспорту традиционно относятся метрополитен и скоростной трамвай, движущийся по путям, расположенным вне дорог автомобильного движения. Несколько позже к этому виду транспорта стали причислять поезда пригородного движения, имеющие остановки внутри мегаполиса. В частности, в Москве к внеуличному городскому транспорту относят Московское центральное кольцо (МЦК) и центральный диаметр [1, 2]. Учитывая, что организация движения в условиях метрополитена, скоростного трамвая и наземных электропоездов направлена на выполнение одной и той же цели – комфортной и безопасной перевозки пассажиров при достаточно близких технологиях управления, целесообразно на единых принципах разрабатывать централизованную систему управления движением для внеуличного транспорта.

Централизованное управление движением линии. Функциональные уровни управления. Подсистемы уровней управления

В условиях интенсивного движения, что свойственно городскому внеуличному транспорту мегаполисов, построение автономных беспилотных систем управления транспортными средствами, в которых реализуется автоматическое управление каждым поездом по заранее заданному расписанию (графику движения) не эффективно, так как в этом случае не учитывается положение остальных поездов, движущихся по линии. Взаимное «вредное» взаимодействие поездов имеет место только в том случае, когда начинают влиять на автоматически выбранные режимы движения системы обеспечения безопасности [3]. В отличие от автономных, централизованные системы получают информацию о моментах прибытия и отправления всех поездов по всем станциям, сравнивают эту информацию с заданным плановым графиком движения и вырабатывают команды управления каждому поезду – требуемая длительность стоянки и время хода по вперед идущему перегону. Эти команды реализуются беспилотными транспортными средствами. Такой режим работы централизованных систем называется управлением при компенсируемых возмущениях, когда отклонение от планового графика движения может быть парировано имеющимися ресурсами времен хода и длительностей стоянок. Компенсируемые возмущения будем называть «малыми сбоями». В этом случае, когда ресурсов времен хода и длительностей стоянок недостаточно для парирования возмущений, производятся внеплановые обороты составов на станциях с путевым развитием, и, если это необходимо, внеплановое удаление составов с линии в депо, что приводит к изменению парности и порядка следования поездов. Такие ситуации принято называть «большими сбоями» [3, 4, 5]. В случае больших сбоев реализуются алгоритмы

централизованного управления во время сбоя и алгоритм восстановления движения после ликвидации причин сбоя [5, 6], а управление движением осуществляется по оперативному графику. Цель управления после ликвидации причин сбоя – восстановление движения поездов по исходному плановому графику, что дает возможность реализовать требуемую ночную расстановку составов [6, 7]. Таким образом, в централизованной системе можно выделить два функциональных уровня управления: верхний и нижний.

На верхнем уровне в соответствии с плановым или оперативным графиком движения и получаемой информации о прибытии и отвлении поездов вычисляются требуемые времена хода и длительности стоянок для каждого поезда, на нижнем реализуются команды верхнего уровня. Важнейшей функцией управления верхнего уровня является формирование команд оборота составов по конечным станциям, по станциям с нулевым развитием. Передача этих команд осуществляется через систему диспетчерской централизации на устройство станционной централизации, управляющее переводом стрелок. Контроль за работой верхнего функционального уровня осуществляется диспетчерским аппаратом, получающим информацию о поездном положении через систему диспетчерского контроля. Дополнительно диспетчерский аппарат может получать информацию от камер видеонаблюдения, расположенных на станциях, в оборотных пунктах и т.д. Особенно существенна роль диспетчерского аппарата в период больших сбоев. На верхнем функциональном уровне автоматически формируется сценарий управления, согласие на выполнение которого дает диспетчер [6]. Необходим режим, при котором диспетчер берет управление на себя. Безопасность движения поездов обеспечивается системами, использующими рельсовые цепи (система APC на Московском метрополитене) [8], либо радиоканал (системы типа СВТС) [9]. Преимуществом систем на базе радиоканала является отсутствие квантования положения «хвоста» впереди идущего поезда по пути (позиционирование «хвоста» впереди идущего поезда по занятой рельсовой цепи), уменьшение эксплуатационных расходов на содержание и регулировку аппаратуры рельсовых цепей. Определение положения «хвоста» впереди идущего поезда с точностью до длины защитного участка, определяемого максимальными погрешностями в измерении пути и скорости поездов, в случае использования радиоканала позволяет уменьшить допустимый интервал попутного следования [10], что существенно в условиях интенсивного движения. Вместе с тем системы на базе радиоканала (типа СВТС) не имеют функции контроля целостности рельсов (так называемый «контрольный режим»). Поэтому необходимо при использовании систем типа СВТС иметь дополнительную аппаратуру, реализующую контроль целостности рельсов [10]. Кроме того, при внедрении систем автоматического управления движением на действующих линиях важно обеспечить преемственность при функционировании

систем обеспечения безопасности. Поэтому разработка гибридных алгоритмов и аппаратуры, позволяющей получить преимущества, свойственные системам с рельсовыми цепями и радиоканалом, перспективна. Команды системы обеспечения безопасности пользуются высшим приоритетом.

Верхний функциональный уровень содержит следующие подсистемы:

- подсистема управления при малых сбоях, при больших сбоях, после ликвидации причин сбоя [3];
- подсистема построения планового графика движения и графика оборота составов [11, 12];
- подсистема выбора энергооптимальных режимов управления поездом при заданных временах хода по перегону [13] и энергооптимального распределения времени хода по линии на времена хода по перегонам [14]. Эти результаты используются при построении планового графика движения. Следует отметить, что решение задачи выбора энергооптимальных управлений поездом для различных времен хода позволяет получить для каждого перегона зависимость расхода энергии на тягу как функцию времени хода, которая необходима и достаточна для решения задачи энергооптимального распределения;
- подсистема архивирования диспетчерских приказов и исполненных графиков движения;
- база данных отказов и результатов диагностики технических средств, обеспечивающих движение поездов, в том числе и данные диагностики подвижного состава;
- подсистема автоматического управления оборотом подвижного состава на станциях с путевым развитием;
- подсистема информирования пассажиров;
- подсистема обучения персонала, участвующего в организации движения – программно-аппаратный комплекс для подготовки персонала [15];
- подсистема для повышения квалификации поездных диспетчеров – тренажер поездного диспетчера [16, 17, 18].

Актуальность этих программно-аппаратных комплексов значительно существенней непосредственного предназначения. В составе этих комплексов имеются подробные имитационные модели линии, которые используются при анализе новых алгоритмов. По результатам этого моделирования принимается решение об эффективности их внедрения. В составе тренажера имеется система вычисления критериев качества работы системы управления и открытая библиотека алгоритмов управления. Отдельно следует учесть возможность объединения систем обучения сотрудников различных служб, что позволит использовать общие критерии оценки качества обучения, методологию приведения занятий. Наличие имитационных моделей позволяет использовать методы машинного обучения для прогнозирования опасных отказов различных объектов системы [19].

Отметим ряд особенностей верхнего функционального уровня, которые соответствуют современному

развитию IT технологий и позволяют использовать термин «интеллектуальная система». В алгоритмах верхнего уровня требуется формировать команды для поездов линии в условиях неопределенности: нужно давать команду отправления и требуемое время хода ($n+1$)-му поезду таким образом, чтобы реализовать его движение без воздействия ограничений системами обеспечения безопасности. Для выработки этого решения необходимо знание отклонения длительности стоянки от графиковой на следующей станции предыдущего n -го поезда в то время, когда он при интенсивном движении еще не прибыл на станцию. В этих условиях реализуется интеллектуальный алгоритм прогноза возмущений, использующий статистику задержки предыдущих поездов [20]. При автоматическом построении графика движения поездов и графика оборота используют генетический алгоритм [21, 22]. Следовательно, термин «интеллектуальная система» корректен. Интеграция различных функций в системе – собственно управление, сбор и обработка диагностической информации, анализ показателей функционирования объекта, планирование его работы, ведение архивов и т.д. реализуема при использовании методов Big data, алгоритмов искусственного интеллекта. В свою очередь открытость построения системы, наличие базы данных для сбора диагностической информации позволяет считать ее фундаментом при цифровизации городских транспортных систем.

На нижнем функциональном уровне бортовая система управления решает следующие задачи:

- обеспечивает безопасность движения;
- реализует энергооптимальный режим управления поездом, при котором выполняются все заданные ограничения (в том числе и по сигналам систем безопасности движения), обеспечивает выполнение заданного верхним уровнем времени хода по перегону;
- реализует прицельную остановку поезда на станциях;
- реализует выполнение постоянных и временных ограничений скорости;
- реализует закрытие и открытие дверей вагонов, пуск поезда, оповещение пассажиров.

Исключительно важной задачей, обеспечивающей безопасное и эффективное управление движением, является измерение параметров движения: скорости и пути, пройденного поездом. Эта задача в условиях метрополитена решается с использованием частотно-импульсных датчиков вращения колесной пары и корректирующих датчиков, расположенных на стенке тоннеля, либо на пути. В условиях метрополитена свою эффективность показали ИК-датчики. На стенке тоннеля размещается угловый отражатель, на поезде – приемо-передатчик инфракрасного сигнала [3]. Луч передатчика направлен в сторону стенки тоннеля. Он отражается от углового отражателя и фиксируется на поезде, сбрасывая имеющуюся погрешность при измерении от частотно-импульсного датчика вращения колеса. При расположении двух датчиков на фиксированном расстоянии бортовое

вычислительное устройство рассчитывает радиус колеса, что позволяет уменьшить погрешность при измерении пути и скорости вне точек стробирующего сигнала [3]. Имеется опыт использования RFID-датчиков, расположенных между рельсами. Достоинством этих датчиков является возможность передачи информации о номере датчика, его координате, номере перегона. Вместе с тем из-за колоколообразной диаграммы направленности радиосигнала, положение фиксируемой точки коррекции зависит от скорости движения поезда. Последнее приводит к погрешности позиционирования поезда. Уменьшение скорости движения поезда в точке расположения RFID-датчика при подходе к станции для уменьшения влияния колоколообразной формы сигнала на погрешность фиксации приводит к увеличению времени движения в режиме тяги при постоянном времени хода по перегону и, следовательно, к перерасходу энергии на тягу. В среднем, увеличение времени торможения на 1 секунду вызывает повышение расхода энергии на тягу порядка 1%. Совместное использование двух видов датчиков позволяет повысить надежность тракта измерения пройденного пути и использовать достоинства обоих датчиков: точность фиксации корректирующей точки у ИК-датчика, большой объем передаваемой информации у RFID-датчиков.

Для обнаружения препятствий в условиях беспилотного управления на открытых участках, доступных для людей, животных, других видов транспорта, необходима система технического зрения [23]. Управления, формируемые этой системой, обладают высшим приоритетом.

Наличие современных вычислительных средств на борту поездов позволяет интегрировать функции систем автоматического управления движением поезда, безопасности движения, сбора диагностической информации, которая по радиоканалу передается на станцию и далее на верхний функциональный уровень.

Повышение энергоэффективности управления

Отдельно остановимся на совершенствовании алгоритмов управления движением верхнего уровня. Основными критериями эффективности на верхнем уровне алгоритма управления движением поездов является:

- повышения точности выполнения планового графика движения при компенсируемых возмущениях;
- минимальное время вхождения в плановый график движения после ликвидации причин большого сбоя.

Минимизация указанных критериев должна быть достигнута с учетом выполнения дополнительного условия – минимизации расхода энергии на тягу поездов.

При беспилотном управлении регулятор времени хода бортовой части системы может в известном диапазоне с высокой точностью реализовать заданное время хода по перегону. Эта возможность используется для повышения энергоэффективности управления при малых сбоях. Требуемое время хода $(n+1)$ -го поезда по впереди

лежащему перегону для компенсации опоздания по прибытию этого поезда на $(j+1)$ -ю станцию выбирается с учетом ограничений на минимальную длительность стоянки таким образом, чтобы обеспечить допустимый минимальный интервал по ограничениям систем обеспечения безопасности движения. Отличительной особенностью алгоритма управления движением при компенсируемых возмущениях является учет зависимости ограничений от состояния системы и прогноза величин отклонений длительности стоянки впереди идущего поезда по статистике задержек предыдущих поездов [20]. Зависимость ограничений от состояния системы задается регулировочной характеристикой j -го перегона $T_{uminj}[n+1] = [T_{xy}[n+1], T_{xy}[n]] + T_{cj}[n]$, где $T_{uminj}[n+1]$ – минимальный интервал отправления $(n+1)$ -го поезда на j -ый перегон с $(j-1)$ -ой станции, при котором отсутствует влияние через систему обеспечения безопасности n -го на режимы $(n+1)$ -го поезда; $T_{xy}[n]$, $T_{xy}[n+1]$ – соответственно времена хода n -го и $(n+1)$ -го поезда по j -ому перегону; $T_{cj}[n]$ – длительность стоянки n -го поезда на j -ой станции. При выборе управления величины $T_{cj}[n] = T_{cj}^r[n] + \Delta T_{cj}^{np}[n]$ где $T_{cj}^r[n]$ – длительность стоянки n -го поезда на j -ой станции по плановому графику; $\Delta T_{cj}^{np}[n]$ – прогнозируемое отклонение фактической длительности стоянки от плановой. Время хода $(n+1)$ -го поезда по j -ому перегону выбирается алгоритмом таким образом, чтобы при обеспечении требований по величине $T_{uminj}[n]$ было реализовано ограничение по допустимой минимальной длительности стоянки и минимально возможные опоздания $(n+1)$ -го поезда на j -ую станцию. При этом уменьшается число ограничений скорости и остановок сзади идущего поезда на перегоне. Такой алгоритм, с одной стороны, повышает безопасность движения за счет уменьшения вероятности опасного сближения поездов, с другой – уменьшает расход энергии на тягу не только за счет уменьшения числа остановок на перегоне, но и за счет увеличения времени хода сзади идущего поезда.

Алгоритм управления после ликвидации причин большого сбоя выбирают из множества алгоритмов управления, обеспечивающих максимальное быстрое действие, тот, который минимизирует расход энергии на тягу, за счет энергооптимального распределения времен хода по участку на времена хода по перегону. Проблема энергоэффективности учитывается при планировании движения поездов не только, как указывалось ранее, путем оптимального распределения времени хода, по линии на времена ход по перегонам, но и за счет изменения способа увеличения числа поездов на линии при переходе к часам «пик». В традиционных плановых графиках движения в переходных режимах использовались «сверхрежимные» стоянки, обеспечивающие увеличение интервала между поездами для вывода на линию дополнительного поезда. В рассматриваемом алгоритме планирования тот же эффект достигается плановым увеличением времен хода, что определяет уменьшение расхода энергии на тягу. Таким образом, энергоэффективность плановых графиков движения

поездов достигается использованием зависимостей расхода энергии на тягу поездов от времени хода по перегону при выбранных энергооптимальных режимах управления, распределением времени хода по линии на времена хода по перегонам по критерию минимума расхода энергии, заменой в переходных режимах «сверхрежимных» стоянок увеличенными временами хода по перегону.

Построение сетей передачи информации в централизованной системе управления, вопросы защиты информации являются исключительно важными и определяющими эффективность работы системы. Эти вопросы не затрагиваются в данной статье и требуют отдельного рассмотрения.

Структура системы управления движением внеуличным городским транспортом мегаполиса

Выше была рассмотрена система управления движением на линии внеуличного городского транспорта. Объединение таких систем с дополнением этого объединения более высоким уровнем управления иллюстрируется на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

- ЦСУ – центр ситуационного управления;
- ЦСУДПМ линии 1, ..., N – централизованная система управления движением поездов метрополитена от 1-ой до N -ой линии;
- ЦСУДСТ линии 1, ..., M – централизованная система управления движением скоростного трамвая от 1-ой до M -ой линии;
- ЦСУДПЦК – централизованная система управления движением поездов центрального кольца (в Москве МЦК);
- ЦСУДПЦД – централизованная система управления движением поездов центральных диаметров от 1 до K .

Центры ситуационного управления (ЦСУ) для различных видов городского внеуличного транспорта получают информацию от подсистем верхнего функционального уровня централизованного управления движением поездов, в частности, от программно-аппаратных комплексов диспетчерского аппарата линий. В штатном режиме получаемая информация «сжимается» и в обобщенном виде поступает на устройства отображения центров ситуационного управления. При отклонении движения поездов от планового графика на фиксированную вели-

чину изменением цвета изображения линии и звуковым сигналом этот факт сообщается сотрудникам центра, которые могут вызвать подробные изображения поездного положения, доступного диспетчеру линии. Разработка функций центра ситуационного управления и принципы его построения были разработаны сотрудниками РУТ (МИИТ) и Московского метрополитена [24]. Обобщенная информация с ЦСУ различных видов внеуличного городского транспорта поступает в центр управления внеуличным транспортом мегаполиса. На этом уровне получаемая информация позволит оперативно управлять городским транспортом в случае чрезвычайных ситуаций, заранее принимать согласование управленческих решений при плановом закрытии тех или иных участков линий. Городской центр управления внеуличным транспортом должен быть связан с центрами управления других видов транспорта. Концепция его построения требует существенной проработки.

Заключение

Рассмотренные принципы построения и алгоритмы функционирования системы интеллектуального централизованного управления движением внеуличного городского транспорта показали свою эффективность, определяемую следующим:

- повышение использования пропускной и увеличения провозной способности внеуличного городского транспорта за счет точного выполнения планового графика движения поездов;
- повышение энергоэффективности планирования и управления движением поездов за счет выбора энергоэффективных режимов управления поездами, оптимального по критерию минимума энергозатрат на тягу, распределения времени хода поездов по линии на времена хода по перегонам, замены планового графика движения поездов со «сверхрежимными» стоянками на график с изменением плановых времен хода поездов по перегонам в период смены парности движения, совершенствования алгоритмов централизованного управления, учитывающего зависимость ограничений на управление от состояния системы и прогноз возможных возмущений, увеличения времени хода поездов по перегону для реализации допустимого межпоездного интервала движения по системам обеспечения безопасности движения;



Рис. 1. Структура системы

- повышение безопасности движения за счет уменьшения вероятности «опасного» сближения поездов при более точном выполнении времен хода поездов по перегонам и длительностей стоянок;

- оперативное управление движением во время чрезвычайных ситуаций и больших сбоях движения за счет разработки эффективных алгоритмов централизованного управления во время сбоях движения и после окончания причин сбоя;

- повышение комфорта пассажиров за счет точного выполнения графика движения.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001.

Acknowledgments. The reported study was funded by RFBR, Sirius University of Science and Technology, JSC Russian Railways and Educational Fund “Talent and success”, project number 20-37-51001.

Библиографический список

1. Пассажиропоток МЦД достиг 550 тысяч человек в сутки // Городской информационный канал m24.ru. URL: <https://www.m24.ru/news/transport/07122019/99787> (дата обращения 18.03.2020).
2. Роменский Д.Ю., Вакуленко С.П., Козлов А.В. Выбор концептуального решения по организации диаметральных пригородно-городских перевозок в Московском ж.д. узле / Молодые ученые – развитию национальный технологический инициативы (поиск). 2020. №1. С. 568-570.
3. Баранов Л.А. Современные микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л.А. Баранов, Я.М. Головичер, Е.В. Ерофеев, В.М. Максимов; под ред. Л.А. Баранова. М.: Транспорт, 1990. 272 с.
4. Баранов Л.А., Козлов В.П. Управление линией метрополитена во время сбоя движения // Вестник ВНИИЖТ’а. 1992. №5. С. 29-31.
5. Балакина Е.П. Принципы построения алгоритмов системы поддержки принятия решений поезвному диспетчеру // Наука и техника транспорта. 2008. № 2. С. 23-26.
6. Балакина Е.П. Автоматика выполняет функции диспетчера // Мир транспорта. 2008. № 2. С. 104-109.
7. Балакина Е.П., Щеглов М.И., Ерофеев Е.В. Алгоритм оперативного управления линией метрополитена для восстановления движения по плановому графику // Наука и техника транспорта. 2015. № 1. С. 23-25.
8. Бестемьянов П.Ф., Романчиков А.М. Контроль движения при координатном регулировании // Мир транспорта. 2008. № 1. С. 104-108.
9. IEEE 1474.1-2004 – IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements, 2004.
10. Баранов Л.А. Оценка интервала попутного следования электропоездов для систем безопасности на базе радиоканала // Мир транспорта. 2015. № 2. С. 6-14.
11. Сидоренко В.Г., Сафронов А.И. Построение планового графика движения для метрополитена // Мир транспорта. 2011. № 3. С. 98-105.
12. Исакаев Т.А., Сафронов А.И., Сидоренко В.Г., Чжо М.А. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена // Автоматика на транспорте. 2020. № 1. Том 6. С. 38-63.
13. Баранов Л.А., Мелешин И.С., Чинь Л.М. Энергооптимальное управление движением поезда с рекуперативным тормозом при учете ограничений на фазовую координату // Наука и техника транспорта. 2010. № 4. С. 12-23.
14. Баранов Л.А., Кузнецов Н.А., Максимов В.М., Энергооптимальное управление транспортными средствами // Электротехника. 2016. № 9. С. 12-18.
15. Логинова Л.Н. Роль системы автоматизированной проверки знаний поездных диспетчеров линии метрополитена в повышении качества обучения // Наука и техника транспорта. 2011. № 1. С. 62-65.
16. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г. Применение тренажеров для повышения квалификации работников службы движения // Автоматика, связь и информатика. 2003. № 2. С. 17-20.
17. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г. Тренажер поездных диспетчеров линий Московского метрополитена // Железные дороги мира. 2002. № 8. С. 64-69.
18. Баранов Л.А., Балакина Е.П., Сидоренко В.Г. Тренажеры поездных диспетчеров рельсового транспорта // Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». М.: МИИТ, 2017. С. VII-4.
19. Шубинский И.Б., Замышляев А.М., Проневич О.Б., Игнатов А.Н., Платонов Е.Н. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути // Надежность. 2020. Т. 20. № 2. С. 45-53.
20. Баранов Л.А., Балакина Е.П., Иконников С.Е., Антонов Д.А. Централизованное управление движением поездов городских железных дорог современного мегаполиса // Наука и техника транспорта. 2020. № 1. С. 30-38.
21. Сидоренко В.Г., Чжо М.А. Применение генетических алгоритмов к решению задачи планирования работы электроподвижного состава метрополитена // Электроника и электрооборудование транспорта. 2016. № 6. С. 13-16.
22. Сидоренко В.Г., Чжо М.А. Исследование возможности применения генетических алгоритмов к решению задач планирования работы электроподвижного состава метрополитена // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 6. С. 37-40.
23. Охотников А.Л. Системы технического зрения: тенденции развития // Железнодорожный транспорт. 2020. № 9. С. 44-51.

24. Ершов А.В. Принципы построения ситуационного центра на Московском метрополитене // Наука и техника транспорта. 2006. № 1. С. 27-33.

Сведения об авторах

Леонид Аврамович Баранов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и защита информации», Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация, e-mail: baranov.miit@gmail.com

Валентина Геннадьевна Сидоренко – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и защита информации», Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация, e-mail: valenfalk@mail.ru

Екатерина Петровна Балакина — кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации», Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация, e-mail: balakinaep@gmail.com

Людмила Николаевна Логинова — кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации», Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация, e-mail: ludmilanv@mail.ru

Вклад авторов в статью

Баранов Л.А. Принципы построения системы, задачи энергоэффективности.

Сидоренко В.Г. Задачи планирования движения поездов, генетические алгоритмы.

Балакина Е.П. Задачи прогнозирования возмущений. Алгоритмы управления при больших сбоях движения.

Логинова Л.Н. Алгоритмы управления движением при компенсируемых возмущениях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Ошибки, неисправности и отказы

Игорь Б.Шубинский^{1*}, Хендрик Шебе²

¹АО «НИИАС», Москва, Российская Федерация, ²TÜV Rheinland, Кельн, Германия

*igor-shubinsky@yandex.ru



Игорь Б.
Шубинский



Хендрик Шебе

Резюме. Цель. Гармонизация русскоязычных и англоязычных определений ошибок, неисправностей, отказов. Объект статьи – одни из наиболее важных предметов изучения теории надежности и функциональной безопасности. Предмет статьи – понятия и определения отказов, ошибок, неисправностей. **Результаты исследования.** Проанализированы определения понятий, описывающих нарушения надежности и функциональной безопасности объектов в русскоязычных и международных стандартах, таких как ГОСТ 27.002-2015, ГОСТ Р/МЭК 61508-2012, IEC 60050, DIN 40041, а также в публикациях ряда авторов. Анализ показывает, что отказ всегда связан с потерей функции, то есть с возможностью выполнять работу так, как требуется по всем стандартам. Нужно отметить, что здесь неверное ожидание пользователя не подпадает под определение отказа. Отказ следует отличать от вводимых непреднамеренно функций. Неисправность определяется как неспособность системы в полной мере выполнять требуемую работу, которая может при определенных условиях перерасти в отказ. Ошибка – как несоответствие между вычисленным, наблюдаемым или измеренным значением или условием и истинным, заданным или теоретически правильным значением или условием – это отклонение, которое присутствует, но превратится, возможно, при определенных условиях в отказ. Типичный пример – некритичные ошибки программного обеспечения. Так называемые систематические отказы на самом деле являются ошибками, которые могут превратиться в критичные ошибки (отказы). Отметим, что определения в международном электротехническом словаре IEC 60050 могут быть использованы как демонстрирующие общее согласие, что не удивительно для международного стандарта.

Ключевые слова: отказ, неисправность, ошибка, сбой, повреждение, стандарт, термин, надежность, функциональная безопасность, событие, работа.

Для цитирования: Шубинский И.Б., Шебе Х. Ошибки, неисправности и отказы // Надежность. 2021. №2. С. 24-27. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-24-27>

Поступила 20.10.2020 г. / После доработки 10.04.2021 г. / К печати 21.06.2021 г.

1. Введение

Развитию терминологии в области надежности и безопасности уделено большое внимание (см., например, работы Нетеса, Похабова, Плотникова, Михайлова [1-5]). Не всегда эти термины достаточно хорошо отражаются в разных языках. В данной статье мы попытаемся дать представление о возможных определениях терминов *ошибка*, *неисправность*, *отказ*. Мы попытаемся сделать это параллельно на двух языках: английском и русском. Эта задача не из легких, так как не так много статей или книг существует в хороших двуязычных версиях. Во всяком случае, авторы попытаются в этой статье описать свой взгляд на терминологию. В разделе 2 приведен обзор ряда существующих определений и концепций. В третьем разделе дается краткий анализ ключевых терминов и предложено их определение в интерпретации авторов. В четвертом разделе приведено заключение.

2. Обзор существующих концепций

Определения терминов *неисправность* (иногда *сбой*, см. [6]), *отказ* и *ошибка* можно найти в первую очередь в стандартах, касающихся терминов и определений. В стандарте IEC 60050 [7] рекомендуется использовать следующие определения:

отказ – потеря способности выполнять работу по мере необходимости;

неисправность – неспособность выполнить требуемое, обусловленное внутренним состоянием;

ошибка – расхождение между вычисленным, наблюдаемым или измеренным значением или условием и истинным, заданным или теоретически правильным значением или условием.

В межгосударственном стандарте ГОСТ 27.002 [8] имеет место следующее определение:

отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Эта интерпретация основывается на монографии – основной книге по надежности, написанной в 1965 г. Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляевым, Ю.Д. Соловьевым [9].

Отказ – это частичная или полная утрата или изменение таких свойств изделия, которые существенно ухудшают работоспособность или приводят к потере работоспособности.

Здесь можно отметить, что это определение данное в работе [9] также смогло определить неисправность. Но нужно признать, что за последние 55 лет произошла определенная эволюция терминологии, которую авторы не могли предвидеть. Это касается, в частности, определение термина *ошибка*.

В межгосударственном стандарте ГОСТ 27.002 [7] отсутствует определение *ошибки*, однако *неисправность* и *дефект* определены следующим образом:

неисправность – состояние объекта, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований, предъявляемых в документации на него;

дефект – каждое отдельное отклонение объекта от требований, определенных в документации.

Различия между этими определениями незначительны. Если *неисправность* – любое несоответствие заданным требованиям, то *дефект* – каждое конкретное несоответствие. В стандарте ГОСТ 27.002 определено понятие

повреждение как событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта, при сохранении работоспособного состояния.

Это определение *повреждения* очень близко к определению *неисправности* согласно словарю IEC 60050 [7].

В качестве третьего источника используем статью Gayen & Schäbe [10, 11], которая была опубликована на двух языках, и поэтому терминология синхронизирована. Авторы частично заимствовали терминологию из DIN 40041 [12], которая, хотя и остается в силе, но устарела и больше не поддерживается. Это объясняет некоторые недостатки.

Отказ: физический определенный функциональный модуль прекращает выполнение функции в пределах указанной загрузки и условий окружающей среды.

Это определение связано с потерей предполагаемой функции и соответствует приведенным выше определениям. Однако сфера применения данного термина ограничивается элементом. Такое применение этого понятия на уровне системы может привести к недоразумениям, поскольку не обязательно характеризует отказ систем – на уровне системы это может быть связано с *неисправностью*. Однако определение *неисправности*, данное в той же статье, проясняет это.

Неисправность: потерянная или ошибочная функция, или неполное предоставление желательной функции модулем.

Важной частью обсуждения является различие между *неисправностью* и *отказом*. С одной стороны, *неисправность* – это частичная потеря функциональной способности или полная потеря функциональной способности, связанной с блоком или подсистемой, не обязательно приводящая к отказу системы. С другой стороны, *неисправность* может также возникнуть на системном уровне и ухудшить производительность системы. Поэтому важно различать систему и подсистему или блок. Мы должны отметить, что событие, которое может быть отказом подсистемы, может быть просто *неисправностью* на системном уровне, поскольку другие подсистемы могут, по крайней мере частично, компенсировать этот отказ подсистемы, чтобы сделать его просто *неисправностью* на системном уровне.

Chillarege [13] рассматривает отказ / *сбой* программного обеспечения как событие, когда ожидания клиента не оправдались. Фактически это следует из интерпретации отказа как полной или частичной потери функции системы, в данном случае вызванной программным обеспечением. Шубинский [14] отмечает, что само программное обеспечение в этом случае не вышло из строя, отказ происходит на системном уровне. Активируются только те части программного обеспечения, которые являются *ошибочными*, или активируется та часть

программного обеспечения, которая не в состоянии предоставить правильный ответ на команду системы.

Рэнделл [15] предлагает целую цепочку в виде

Отказ → Неисправность → Ошибка → Отказ и т. д.

Здесь термины повторяются, только связаны с более высоким уровнем в системе. Рэнделл использует следующие определения:

отказ системы происходит, когда поставляемая услуга отклоняется от выполнения функции системы, причем последняя является тем, на что нацелена система.

Это соответствует определению отказа, данному другими авторами.

Ошибка – это та часть состояния системы, которая может привести к последующему отказу. Ошибка, влияющая на услугу, является признаком того, что сбой уже произошел. Признанной или предполагаемой причиной этого является ошибка.

Итак, для Рэнделла *ошибка* – это отклонение как составная часть состояния системы. Кроме того, он видит в этом признак неисправности и определяет неисправность как причину ошибки. Такой подход представляется неоднозначным. В понимании авторов Рэнделл скорее описывает неисправность, когда объясняет, что такое ошибка. Риис [16] также поддерживает точку зрения, что

отказ – это потеря функции, т. е. элемент не работает, если он не сделал то, что мы хотим, и находится в исправном состоянии, если сделал, что мы хотели. Более точно, это функция, которая отказывает.

Обратите внимание, что речь не идет о том, является ли система физически неповрежденной или нет – отказавшая система может быть физически неповрежденной. Физически неповрежденная система также может выйти из строя из-за скрытой (нежелательной или неправильно спроектированной функции, см., например, Deckers & Schäbe [17]) или недеklarированных функций, которые были вовлечены в систему непреднамеренно или намеренно.

Пархами [18] вводит список из 7 состояний: *идеальное, дефектное, неисправное, ошибочное, плохо функционирующий, деградированное, состояние отказа*. Система движется от состояния к состоянию, начиная от идеального и заканчивая отказом. По мнению авторов, некоторые обозначения состояний неоднозначны. Дефект может также означать неисправность, деградацию или отказ. Кроме того, вопрос заключается в том, как интерпретировать ошибочное состояние. Должен ли этот термин использоваться только для характеристики системы с ошибкой, где ошибка описывает отклонение от спецификации, встроенной в систему с самого начала, т.е. отклонение? По мнению авторов, количество состояний должно быть сокращено. Говоря об отказах, следует также упомянуть о разграничении, сделанном в МЭК 61508 [6] и других стандартах функциональной безопасности между понятиями «Случайные отказы аппаратных средств» и «Систематические отказы». Прежде всего, приведем определение отказа, неисправности (здесь употребляется сбой в переводе) и ошибки согласно МЭК 61508 [6] часть 4:

3.6.4: «отказ – прекращение способности функционального блока обеспечивать требуемую функцию или работу функционального блока любым иным способом, кроме требуемого»;

3.6.1: «сбой – ненормальное состояние, которое может привести к снижению или потере способности функционального блока выполнять требуемую функцию»;

3.6.11: «ошибка – расхождение между вычисленным, наблюдаемым или измеренным значением или условием и истинным, заданным или теоретически правильным значением или условием».

Сравнивая эти определения с определениями из других источников, можно увидеть, что отказы также рассматриваются как событие, при котором система или ее составная единица не обеспечивают желаемую функцию. Кроме того, сбой определяется как предвестник отказа – здесь как ненормальное состояние, то есть отклонение. Тем не менее, последствия будут отличаться на системном уровне. Это может быть частичная потеря способности. Поскольку используется термин «может», также возможно, что на системном уровне не происходит никаких последствий – только необходимость ремонта избыточного блока.

3.6.5: «случайный отказ аппаратных средств – отказ, возникающий в случайный момент времени, который является результатом одного или нескольких возможных механизмов ухудшения характеристик в аппаратных средствах»;

3.6.6: «систематический отказ – отказ, связанный детерминированным образом с какой-либо причиной, которая может быть исключена только путем модификации проекта либо производственного процесса, операций, документации, либо других факторов».

В этих двух определениях отказы различаются в зависимости от механизма, который их вызвал. Случайный отказ аппаратных средств связан с процессами старения и деградации. Напротив, систематический отказ связан с ошибками в процессах проектирования и т.д. Однако и эти отказы проявляются стохастическим образом [19], когда срабатывает механизм отказа, поэтому они детерминированы только в том смысле, что может быть указана одна четко определенная причина. Время возникновения во многих случаях является случайным. Эта случайность вызвана окружающей средой, которая вызывает случайное влияние. Чтобы быть точным, здесь следует различать два подвида:

а) система содержит ошибку, например программную ошибку. Другим примером может быть система, которая не способна выдерживать определенные высокие или низкие температуры, хотя они требуются. Нет никакого старения. Как только влияние активирует эту ошибку, система отказывает в произвольное время. Случайность обусловлена случайностью внешнего воздействия;

б) из-за ошибочных процессов система имеет узкое слабое место. Этим слабым местом является, например, снижение устойчивости к нагрузкам, воздействию окружающей среды и т.д. Примером могут служить механические детали с заниженными параметрами,

которые отказывают из-за усталости. Здесь фактически активируется механизм случайного отказа, вызванный ошибкой проектирования, которая была бы исключена в противном случае с помощью конструктивных решений, если бы компонент был достаточно прочным.

3. Анализ и выводы

Анализ ясно показывает, как следует интерпретировать неисправность, отказ и ошибку.

Отказ всегда связан с потерей функции, то есть с функцией как возможностью выполнять работу так, как требуется, во всех стандартах. Следует отметить, что это требование также может быть неявным, т.е. система функционирует не так, как ожидалось. Нужно отметить, что здесь неверное ожидание пользователя не подпадает под определение отказа. Отказ следует отличать от вводимых непреднамеренно функций (sneaks), (см., например, [17]).

Неисправность определяется как неспособность системы выполнять в полной мере требуемую работу, которая может при определенных условиях перерасти в отказ. Термин „fault“ допускает два разных перевода на русский язык (отказ, неисправность), которые используются параллельно в зависимости от документа.

Ошибка как несоответствие между вычисленным, наблюдаемым или измеренным значением или условием и истинным, заданным или теоретически правильным значением или условием – это отклонение, которое присутствует, но может превратиться в отказ при определенных условиях. Типичный пример – некритичные ошибки программного обеспечения. Так называемые систематические отказы на самом деле являются ошибками, которые могут превратиться в критичные ошибки (отказы). Отметим, что определения в [6] могут быть использованы как демонстрирующие общее согласие, что не удивительно для международного стандарта.

Библиографический список

1. Нетес В.А. Объект в надежности: определение и содержание понятия // Надежность. 2019. Том 19. № 4. С. 3-7.
2. Нетес В.А., Тарасьев Ю.И., Шпер В.Л. Как нам определить что такое «надежность» // Надежность. 2014. Том 14. № 4. С. 3-14
3. Плотников Н.И. Разработка альтернативной терминологии надежности // Надежность. 2020. Том 20. № 3. С. 21-26.
4. Похабов Ю.П. О дефиниции термина «надежность» // Надежность. 2017. Том 17. № 1. С. 4-10.
5. Михайлов В.С. О терминах надежности // Надежность. 2020. Том 20. № 2. С. 24-27.
6. ГОСТ Р МЭК 61508. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. М.: Стандартинформ, 2014.
7. IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary, 2015-02.
8. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. IV, 23 с.
9. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев Ю.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
10. Gayen J.-T., Schäbe H. (Mis-)conceptions of safety principles, // ESREL 2008, Proceedings Safety, Reliability and Risk analysis. 2008. Vol. 2. P. 1283-1291.
11. Гайен Й.Т., Шебе Х. Правильное и неправильное понимание принципов обеспечения функциональной безопасности // Надежность. 2009. № 3. С. 63-74.
12. DIN 40041, Zuverlässigkeit; Begriffe, (Reliability, terms), 1990-12 (outdated).
13. Chillaregge R. What is Software Failure / Commentary in IEEE Transactions on Reliability, 45, no. 3, 1996.
14. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. М.: Журнал Надежность, 2012. 296 с.
15. Randall B. On Failures and Faults // Conference Paper in Lecture Notes in Computer Science. September 2003. DOI: 10.1007/978-3-540-45236-2_3
16. Rees R. What is a failure // IEEE Transactions on reliability. 1997. Vol. 46. No. 2. P. 163.
17. Deckers J., Schäbe H. Using Sneak Circuit Analysis in Aerospace Product Assurance // Qual. Rel. Eng. Int. 1993. Vol. 9. P. 137-142.
18. Parhami B. Defect, Fault, Error, ..., Failure // IEEE Transaction on Reliability. 1997. Vol. 46. No. 4. P. 450-451.
19. Braband J., Schäbe H. Individual Risk, Collective Risk, and F–N Curves for Railway Risk Acceptance. /In: Handbook of RAMS in Railway systems – Theory and Practice, Qamar Mahboob, Enrico Zio (Eds.), 2018, Boca Raton, Taylor and Francis, chapter 8, p. 119-128.

Сведения об авторах

Игорь Борисович Шубинский – доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя НТК АО «НИИАС», ул. Нижегородская, д. 27, стр.1, Москва, Российская Федерация, 109029, тел. +7 (495) 786-68-57; e-mail: igor-shubinsky@yandex.ru

Хендрик Шебе – доктор физико-математических наук, заведующий отделом анализа рисков и опасностей, TÜV Rheinland InterTraffic, Кельн, Германия, e-mail: schaebe@de.tuv.com

Вклад авторов в статью

Вклад авторов заключается в анализе терминологии отказ, неисправность / сбой и ошибка и их использование на русском и английском языках. Вклад авторов равный.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Предложения по совершенствованию терминологии в области надежности

Борис П. Зеленцов, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация
zelentsov@mail.ru



Борис П.
Зеленцов

Резюме. Цель. Статья направлена на устранение недостатков, связанных с использованием привычных, но недостаточно обоснованных терминов в межгосударственном стандарте ГОСТ 27.002-2015. Правильное понимание и использование терминов имеет большое значение в деятельности специалистов в области надежности. **Методы.** Недостатки терминологии устраняются путем уточнения определений используемых терминов. Несколько терминов, использованных в этом стандарте, подвергнуты логическому и терминологическому анализу, который основан на требованиях, изложенных в нормативных документах и на смысловом значении этих терминов. Предпосылки для этого были опубликованы в [8]. **Результаты и выводы.** Предложены определения нескольких новых терминов и терминов, которые не удовлетворяют сформулированным требованиям: «теория надежности», «оценка надежности», «расчет надежности» и др. Приведенные сообщения могут послужить основой для обсуждения и принятия согласованных (компромиссных) вариантов.

Ключевые слова: надежность, терминология в области надежности.

Для цитирования: Зеленцов Б.П. Предложения по совершенствованию терминологии в области надежности // Надежность. 2021. №2. С. 28-30. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-28-30>

Поступила 18.01.2021 г. / **После доработки** 19.04.2021 г. / **К печати** 21.06.2021 г.

Введение

Целью статьи является формулирование обоснованных предложений по уточнению некоторых терминов и понятий, содержащихся в стандарте [1]. В статье приведены обоснования определений нескольких терминов и понятий, которые, по мнению автора, могут послужить основой для обсуждения и принятия согласованных (компромиссных) вариантов.

Обзор источников

Автор [10] справедливо отмечает, что технические стандарты требуют предварительной гуманитарной проработки. Результатом должно быть обоснование совокупности согласованных и непротиворечивых терминов.

В [11] приведены оригинальные подходы к проблемам надежности технических объектов с точки зрения их проектирования и конструирования.

В [8] сформулированы требования к используемой терминологии с точки зрения логической непротиворечивости и внутренней согласованности и выявлены конкретные термины, при использовании которых эти требования были нарушены. К числу таких терминов относятся: «методы определения надежности», «оценка надежности», «состояние объекта».

В [8] приведены определения понятий, которые содержатся в названии стандарта [1]: термин, определение, надежность.

Термин – слово или сочетание слов, являющееся точным обозначением определенного понятия, употребляемого в области надежности.

Определение (дефиниция) – формулировка, раскрывающая смысл, значение, содержание, сущность, основные особенности термина (понятия) с помощью знакомых и осмысленных слов.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Определение термина «надежность» взято из стандарта [1]. В нем раскрыта сущность и установлено содержание термина как свойства. Это определение однозначно. Никаких других толкований, методов, способов, вариантов, разновидностей определения термина «надежность» не должно существовать.

Методы

В дополнение к требованиям, изложенным в [8], в определении терминов следует вводить признаки, раскрывающие смысл, сущность, значение терминов.

К основным понятиям следует добавить новый термин «Теория надежности». Этот термин является устоявшимся и общепризнанным. С названием «Теория надежности» опубликованы монографии и учебники. Этот термин целесообразно использовать также при определении других терминов в области надежности. Поэтому термин «Теория надежности» должен быть внесен в государственный стандарт.

Теория надежности: Совокупность научных положений, описывающих, обосновывающих и объясняющих основы, закономерности и связи явлений в области надежности.

В [8] было отмечено, что в названии раздела «3.2 Состояния» использован термин «Состояние», определение которого не приведено. Кроме того, также не приведено определение термина «Состояние объекта». Наиболее подходящим термином, связанным с состоянием объекта, является «Техническое состояние объекта». Этот термин и его определение приведены в стандарте [2]:

Техническое состояние объекта (техническое состояние, состояние объекта, состояние): Совокупность свойств объекта, подверженных изменению в процессе его производства, эксплуатации, транспортировки и хранения, характеризуемых значениями параметров и/или качественными признаками, установленными в документации.

По мнению автора, термин «Техническое состояние объекта» следует внести в основные понятия стандарта и затем использовать этот термин и его сокращенные варианты в других разделах стандарта.

Важными терминами являются такие, которые связаны с расчетом надежности и методами расчета надежности. Термины «Расчет надежности» и «Методы расчета надежности» используются в справочной и научной литературе, но в основополагающих стандартах по надежности они не определены. Приведем следующие определения этих терминов.

Расчет надежности: Математические вычисления для получения численных значений показателей надежности объекта по правилам, установленным в теории надежности.

Метод расчета надежности: Специальный прием или система приемов для расчета надежности на основе закономерностей, обоснованных в теории надежности.

В соответствии со стандартом [3] термины разделяются на два типа: вероятностные и статистические. Это означает, что расчет надежности может быть основан на методах теории вероятностей или на методах математической статистики. Отсюда методы расчета надежности (методы вычислений) разделяются на два основных класса: вероятностные и статистические. На основе теории вероятностей вычисляются значения показателей надежности на языке свойств генеральных совокупностей, а на основе математической статистики – их оценки по выборочным наблюдениям из некоторой совокупности. Естественно, это не исключает совместное использование вероятностных и статистических методов.

Итак, целесообразно выделить два класса методов расчета надежности.

Вероятностные методы расчета надежности: методы расчета показателей надежности на основе теории вероятностей.

Статистические методы расчета надежности: методы расчета показателей надежности на основе математической статистики.

Примечание 1 – Возможны другие формулировки этих терминов, например: Методы расчета надежности на основе теории вероятностей / математической статистики.

Примечание 2 – Эти термины могут заменить термины, приведенные в [1]: расчетный метод определения надежности, расчетно-экспериментальный метод определения

надежности, экспериментальный метод определения надежности.

Примечание 3 – Вероятностные и статистические методы могут быть применены для расчета не только показателей надежности, но и для различных характеристик случайных событий и случайных величин, используемых в области надежности.

Следует отметить, что термин «Статистические методы расчета надежности» использован в [11].

Вероятностными методами вычисляются вероятности случайных событий и числовые значения показателей надежности, которые являются числовыми характеристиками случайных величин. В теории надежности разработаны различные вероятностные методы расчета надежности, которые изложены в монографиях, справочниках, учебниках и в научных статьях. Методам анализа (расчета) надежности посвящен стандарт [4]. Рассмотрены особенности методов, основанных на анализе дерева событий и структурной схемы, рассмотрен марковский метод, метод сети Петри и др. Применение марковских методов раскрыто в стандарте [6]: условия их применения, построение диаграмм состояний и переходов, формулы для расчета надежности конкретных схем. В стандарте [5] раскрыты структурные схемы, на основе которых производится расчет надежности, рассмотрены булевы методы, метод редукции и др. Предметом научной деятельности автора является разработка матричных методов расчета надежности [9].

В стандарте [4] отмечены статистические методы оценки вероятности безотказной работы, определены области их применения и достоинства. К статистическим методам относятся байесовские методы, метод Монте-Карло и др. Общие термины, относящиеся к статистическим методам, приведены в стандарте [3]. Статистическими методами вычисляют оценки показателей надежности.

К основным статистическим терминам относятся оценка и оценивание показателей надежности.

Оценка показателя надежности: числовое значение показателя надежности, вычисленное на основе выборочных данных.

Примечание – Оценка показателя надежности является случайной величиной, которая может принимать различные значения от выборки к выборке.

Оценивание показателя надежности: Операция получения (вычисления) числовых значений показателя надежности на основе выборочных данных.

Примечание 1 – Оценивание показателя надежности производится на основе статистических методов расчета надежности.

Примечание 2 – Целью оценивания является получение оценки показателя надежности.

Обсуждение и выводы

В статье сформулированы конкретные предложения по совершенствованию терминологии в области надежности. Автор ограничился рассмотрением ограниченного числа терминов. К числу основополагающих терминов следует отнести термины «теория надежности», «расчет надежности», «метод расчета надежности». Уточнены

определения терминов «техническое состояние объекта», «оценка показателя надежности», «оценивание показателя надежности».

Автор надеется, что публикация и обсуждение приведенных предложений позволит более строго подойти к изложению стандарта по терминологии в области надежности.

Библиографический список

- ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. IV, 23 с.
- ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. II, 13 с.
- ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019. Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей. М.: Стандартинформ, 2020. IV, 65 с.
- ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. М.: Стандартинформ, 2005. IV, 43 с.
- ГОСТ Р 51901.14-2007. Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы. М.: Стандартинформ, 2008. IV, 23 с.
- ГОСТ Р МЭК 61165-2019 Надежность в технике. Применение марковских методов. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 26 с.
- Рекомендации по стандартизации Р 50.1.075-2011. Разработка стандартов на термины и определения. М.: Стандартинформ, 2012. III, 19 с.
- Зеленцов Б.П. Замечания к содержанию стандарта в области надежности // Надежность. 2021. № 1. С. 34-37.
- Зеленцов Б.П. Матричные модели функционирования оборудования систем связи // Вестник СибГУТИ. 2015. № 4. С. 62-73.
- Плотников Н.И. Разработка автомата надежности (обоснование регулирования стандартизации) // Надежность. 2020. № 4. С. 21-24.
- Похабов Ю.П. Надежность: взгляд конструктора // Надежность. 2020. № 4. С. 13-20.

Сведения об авторе

Борис Павлович Зеленцов – доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: zelentsov@mail.ru

Вклад автора в статью

Автор провел терминологический анализ основополагающего стандарта по терминологии в области надежности и привел определения некоторых терминов. Приведенные соображения могут послужить основой для принятия согласованных вариантов в этой области.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

О построении модели безопасности сложной автоматической системы транспортного обслуживания

Алексей В. Озеров^{1*}, Алексей М. Ольшанский¹

¹АО «НИИАС», Москва, Российская Федерация

*a.ozеров@vniias.ru



Алексей В. Озеров



Алексей М.
Ольшанский

Резюме. Цель статьи – рассмотреть подходы к анализу модели безопасности сложных многоконтурных систем транспортного обслуживания, состоящих из не полностью контролируемых подсистем. **Методы.** Для описания модели безопасности используются методы системно-теоретического анализа процессов STPA и принципы, изложенные в стандарте ISO/PAS 21448:2019 (SOTIF). **Результаты.** В статье показаны недостатки методик локального анализа рисков FTA и FMEA и продемонстрирована необходимость более универсального подхода на основе сочетания методологии системного анализа и теории управления. Проиллюстрированы основные этапы такого анализа модели безопасности сложных систем транспортного обслуживания на примере Московского центрального кольца, обеспечивающие обратную связь для оценки безопасности планируемой структуры системы управления. Рассмотрен вариант схемы управления с виртуальной моделью в виде так называемой «контролируемой искусственной нейронной сети». **Выводы.** В настоящее время активно тестируются системы беспилотного управления (без машиниста) на железнодорожном транспорте, которые имеют в своем составе модули автоматического обнаружения препятствий, использующие методы машинного обучения. Введение последних в контур управления крайне усложняет задачу анализа рисков и угроз и оценку безопасности таких систем с помощью традиционных методов построения деревьев ошибок и анализа отказов и их последствий FTA и FMEA. При построении модели безопасности столь сложных многоконтурных систем транспортного обслуживания, состоящих из не полностью контролируемых подсистем, в которых используются методы машинного обучения с не до конца предсказуемым поведением, требуется применение системного подхода для анализа небезопасных сценариев с формированием библиотеки сценариев и формализацией описания модели угроз, в том числе на границах различных контуров управления, в целях сокращения области неизвестных небезопасных сценариев для проектируемых систем беспилотного транспортного обслуживания.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, беспилотное управление, модель безопасности, метод STPA, машинное обучение, искусственная нейронная сеть (ИНС).

Для цитирования: Озеров А.В., Ольшанский А.М. О построении модели безопасности сложной автоматической системы транспортного обслуживания // Надежность. 2021. №2. С. 31-37. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-31-37>

Поступила 23.03.2021 г. / После доработки 12.05.2021 г. / К печати 21.06.2021

1. Введение

В настоящее время в разных странах мира, включая Россию, тестируются решения в области автоматизации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте с переходом к беспилотному управлению. На данный момент полностью автоматический режим управления (без машиниста и персонала на борту поезда) пассажирскими поездами реализован только в метрополитене. По данным UITP [1], в таком режиме функционирует 64 линии метрополитена в 42 городах мира.

В стандарте IEC 26690:2014 [2] описаны общие требования к автоматической системе управления для наземного городского железнодорожного транспорта и предложена следующая «градация уровней автоматизации» (Grades of Automation) системы (рис. 1).

Очевидно, что при повышении уровня автоматизации и переходе к полностью автоматическому режиму управления возникают дополнительные риски безопасности, требующие оценки и учета при формировании концепции функциональной безопасности данной сложной системы управления, объединяющей в своем составе большое количество подсистем.

В отличие от систем управления метрополитена, в котором ограничен доступ на путь посторонних лиц и объектов, а также легче решаются вопросы посадки/высадки пассажиров за счет использования платформенных дверей, системы городского железнодорожного транспорта вынуждены решать указанные задачи иными средствами. В том числе за счет стационарных и бортовых подсистем автоматического обнаружения препятствий, использующих методы машинного обучения при принятии управляющих решений. Введение последних в контур управления заметно усложняет и без того сложную общую задачу анализа угроз и оценки без-

опасности столь многоконтурной системы управления, связанной с безопасностью людей. Данная задача не может быть решена только с помощью традиционных методов анализа угроз FTA и FMEA.

2. Постановка задачи

Цель статьи – рассмотрение новых подходов к анализу модели безопасности сложных многоконтурных систем, состоящих из не полностью контролируемых контуров управления, подсистем и блоков. В практическом плане данная методология может быть использована при оценке безопасности системы управления без машиниста, которая планируется к внедрению на Московском центральном кольце (МЦК).

Ключевые факторы, создающие угрозу функциональной безопасности сложной системы, можно описать следующим перечнем:

- потеря команд или ошибка при подаче внешней входной информации;
- неполнота, несовместимость, некорректность процессной модели;
- ошибки алгоритма управления (дефект генерации, ошибки сценарных изменений процесса, нарушения адаптивности, обучаемости, неправомерные изменения, ошибки в оценке состояния системы, ошибки идентификации системы);
- неподходящие, ошибочные или отсутствующие управляющие команды;
- не подходящие процессу действия мишени или механизма;
- неадекватные ответы сенсора и наблюдателей;
- неподходящие, ошибочные или отсутствующие обратные связи;
- неточные измерения или задержки обратной связи;

Уровень автоматизации	Режим эксплуатации	Отправление поезда	Движение и остановка поезда	Открытие / закрытие дверей	Управление в нештатных ситуациях
GoA1	Система безопасности с участием машиниста	Машинист	Машинист	Машинист	Машинист
GoA2	Системы безопасности и автоведения с участием машиниста	Машинист или автоматически	Автоматически	Машинист	Машинист
GoA3	Без участия машиниста	Автоматически	Автоматически	Проводник или автоматически	Проводник
GoA4	Без поездной бригады на борту	Автоматически	Автоматически	Автоматически	Автоматически

Рис. 1. Уровни автоматизации (GoA) режимов эксплуатации на железнодорожном транспорте

- задержки при передаче управления, потери в подаче на вход или входная ошибка;

- отказы компонентов, не распознанные внешние шумы/команды, их возможное наложение.

К основным предпосылкам формирования нового подхода к построению модели безопасности сложных систем транспортного обслуживания можно отнести следующее:

Разбиение на элементарные подсистемы и анализ деревьев ошибок для каждой подсистемы не учитывает взаимодействия данных подсистем.

При функционировании сложной системы может случиться событие, при котором, несмотря на физически исправные составные подсистемы, произойдет неполное взаимодействие или несколько одновременных задержек под действием внешних факторов, которые вызовут непредусмотренную реакцию анализируемой системы.

Сложность и трудоемкость полного анализа событий в системе.

Недостаточность классической модели построения двухканальной системы безопасности при использовании в одной или нескольких подсистемах искусственных нейронных сетей. Необходимость применения дополнительных методов обеспечения безопасности, как, например, реализация решающего алгоритма на основе цифрового двойника. При этом введение в состав системы цифрового двойника (или виртуальной модели) – совершенно новый и не апробированный подход к обеспечению безопасности системы, требующий дополнительных исследований (см. Шубинский И.Б. и др. [3]).

3. Методология оценки безопасности на основе STPA

Согласно Qi Y. и др. [4], при создании модели безопасности сложной системы строится многоуровневая система управления, включающая описания и разграничения функциональной ответственности между компонентами системы. Верхний иерархический уровень представляет собой контроллер (управляющий элемент) с процессной моделью. Процессная модель генерирует команды управления через отношения в пространстве состояний и вычисленный алгоритм управления, который доводится до нижних структур (мишеней-исполнителей). Мишени и прочие устройства низового уровня сообщают через устройства обратной связи о выполнении команд более высокого уровня. Верхний контроллер адресуется к модели безопасности и, сравнивая ее с поступившей обратной связью, корректирует внутреннее состояние модели.

При такой модели безопасности вероятность инцидентов сводится к ситуациям, когда внутреннее состояние и обратная связь в процессной модели не согласуются между собой. Такая модель является релевантной по отношению к функциональной структуре рассматриваемой системы, учитывает взаимоотношения между блоками и выглядит как развитие многоуровневых схем управления.

Предлагаемая методология базируется на методе STPA, согласно которому строятся контуры управле-

ния, контуры обратной связи, мишени-исполнители, сенсоры и управляющие процессы; устанавливаются отношения между ними, которые могут выступить ограничениями в области безопасности, проектируемые как заранее системно определенные случаи (конструкцией и структурой самих подсистем). Непосредственно анализируя риски через соответствующую управляющую процессную модель, необходимо оценивать требования к безопасности и все возможные управляющие решения для каждой части системы, чтобы идентифицировать потенциально опасные управления и усовершенствовать уровень безопасности и ограничения, не позволяющие проявиться опасному поведению от таких управлений.

Сам метод STPA («системно-теоретический анализ процессов») стал развитием модели STAMP («системно-теоретические модели и процессы аварий»), предложенной Левесон [5] и основанной на теории управления. Метод активно используется в авиации, ядерной энергетике и других отраслях, связанных с особыми требованиями безопасности и сложными системами. Последовательность применения метода состоит из 4 шагов, указанных на рис. 2 (см. Chaima Bensaci и др. [6]):



Рис. 2. Последовательность применения метода STPA

Очевидно, что на *первом шаге* необходимо построить карту сценариев для всей сложной системы с правилами перехода из одного сценария к другому. Такие сценарии могут включать в себя запускающие события, которые приводят к ущербу. В соответствии со стандартом ISO/PAS 21448:2019 (SOTIF) [7], необходимо учитывать 4 типа сценариев, представленных на рис. 3.

При построении модели безопасности сложной системы задача состоит в обеспечении максимального покрытия всех сценариев и сведении количества сценариев небезопасного управления до приемлемого уровня. Применительно к системе транспортного обслуживания МЦК может быть предложен базовый набор эксплуатационных сценариев 1-2 типа, которые должны учитываться при построении модели безопасности с формированием общей библиотеки сценариев (рис. 4).

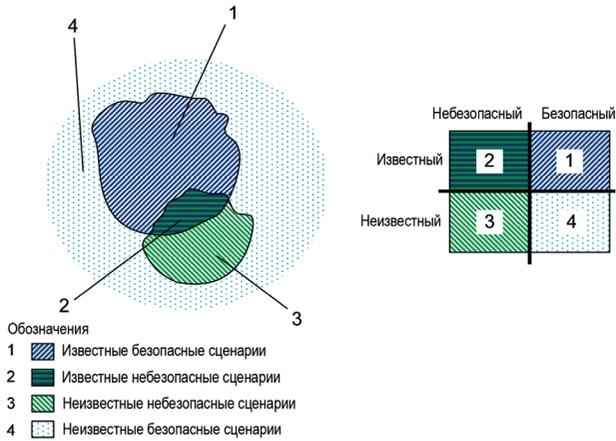


Рис. 3. Типы эксплуатационных сценариев, учитываемые при оценке безопасности системы

На втором шаге необходимо построить полную структурную схему рассматриваемой системы управления. Так, на МЦК система управления реализуется как многоконтурная система управления, в которой предполагаются два режима управления – «автономный» и дистанционный («режим телеуправления») (см. Попов П.А. [8]). Помимо традиционной системы обеспечения безопасности на основе рельсовых цепей, в контуре управления предусматривается взаимодействие по радиоканалу стационарных и бортовых комплексов управления и обеспечения безопасности движения поездов, а также решаются задачи автоматического обнаружения препятствий бортовыми и стационарными устройствами визуального контроля с применением искусственных нейронных сетей с передачей соответствующей информации в центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ). Предлагаемая схема построения системы управления МЦК

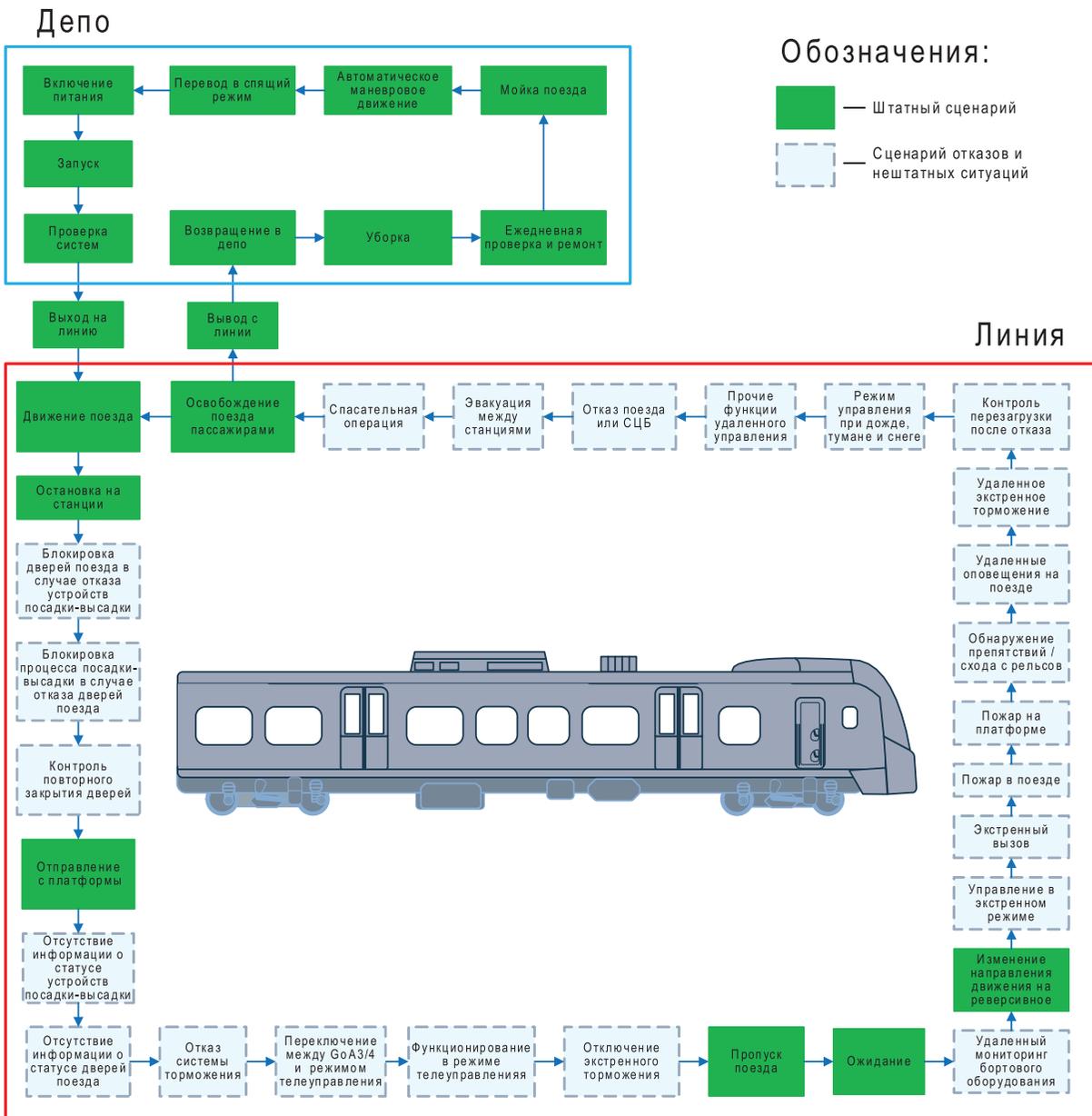


Рис. 4. Базовые эксплуатационные сценарии на городской железной дороге типа МЦК

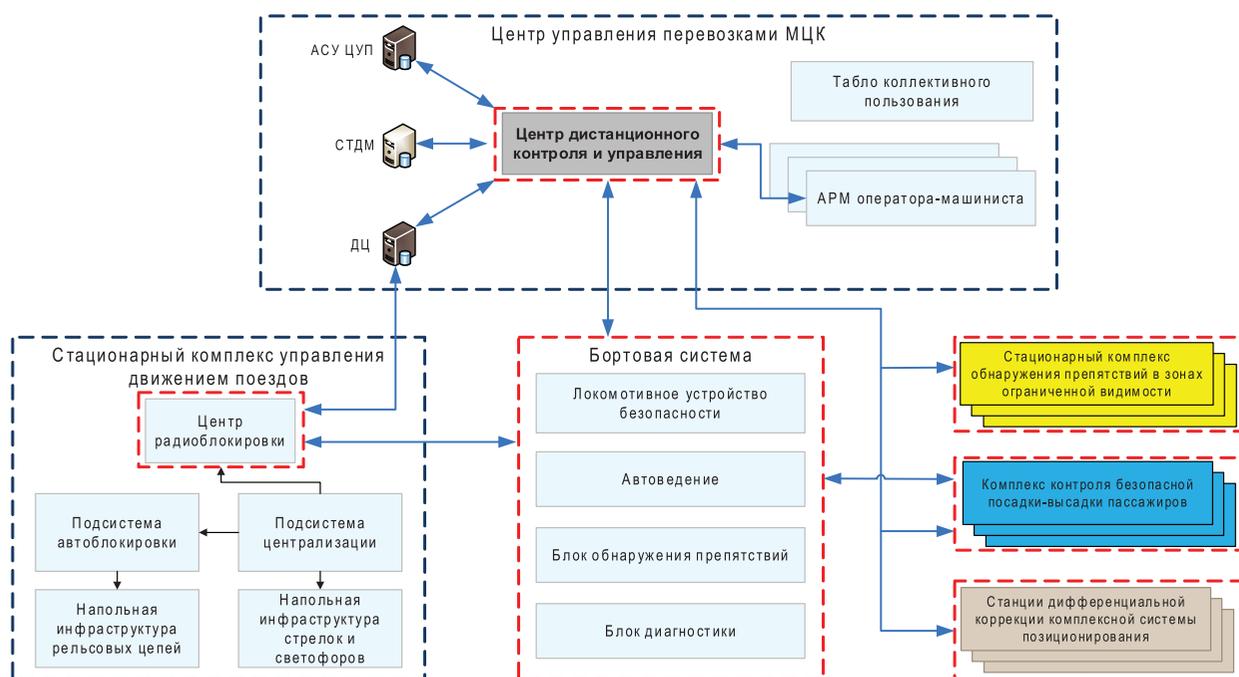


Рис. 5. Общая схема управления и обеспечения безопасности на МЦК

в режиме GoA3/4 представлена на рис. 5 (красной штриховой линией выделены подсистемы, составляющие контур безопасности режима GoA3/4):

Представленная схема уже на этапе системного проектирования сокращает число уровней управления и вносит иерархический порядок, при котором число уровней управления равно двум. В работе Арнольда [9] убедительно показано, что системы с числом уровней управления, равным 2, могут быть устойчивыми при правильно спроектированных управлениях высшего уровня. Однако необходимо провести дальнейшие исследования и оптимизацию такой схемы для упорядочения взаимоотношений между комплексами управляющих систем.

Третий шаг исследования самый трудоемкий – формирование и описание угроз функциональной безопасности в соответствии с перечнем эксплуатационных сценариев для каждого блока системы на различных иерархических уровнях. Для анализа полученных угроз введем следующие обозначения: Sc – общее количество первичных сценариев, которое получено комбинаторным путем (так обеспечивается 100% охват всех устройств и их сочетаний), Mod – множество устройств в контурах управления, влияющих на функциональную безопасность системы, F – множество небезопасных режимов, R – матрица отношений между устройствами и небезопасными режимами – предполагается, что каждое устройство инцидентно само с собой, т.е. минимальная сумма баллов в строке каждого устройства составляет 1.

В данном случае применим с небольшими изменениями, касающимися реализации на том или ином языке программирования, алгоритм, предложенный Yan F. и др. [10] для формирования библиотеки причинно-обусловленных (детерминированных) сценариев с помощью исключения нереальных сценариев.

Таким образом, с учетом введенной нотации, получаем следующую последовательность действий по описанию угроз функциональной безопасности:

1. В результате обработки полной библиотеки сценариев, построенной по оговоренным синтаксическим правилам, формируют множества Mod, F .
2. Строят R как матрицу ($|Mod|, |F|$). Следует отметить, что мощность множества F превосходит величину общего числа режимов отказа, так как один и тот же режим отказа содержится в нескольких сценариях. На первом этапе должно выполняться неравенство $|FYan F| \gg |M|$.
3. Если в строке матрицы R содержится более, чем одна единица, то это говорит о том, что хотя бы одно устройство из M , записанное в данной строке, участвует в нескольких режимах отказа.
4. Далее производят поиск одинаковых столбцов. Их наличие свидетельствует о том, что режимы отказа в этих столбцах совпадают. Их можно включить в один итоговый сценарий.
5. Таким образом, формируется библиотека актуальных сценариев.

Такие сценарии могут быть сформированы на всех структурных уровнях рассматриваемой системы. В рамках генерального подхода основные этапы анализа функциональной безопасности выглядят следующим образом:

1. Формирование типовых сценариев (см. выше), проектирование иерархической структуры управления, диаграмм информационных потоков.
2. Идентификация причин опасностей.
3. Разработка мер безопасности.

Иерархическая структура управления представляет собой графическое изображение уровней управления, управляющие команды от верхних к нижним звеньям и сигналы от нижних звеньев, учитывая в пределе сенсоры, двери,

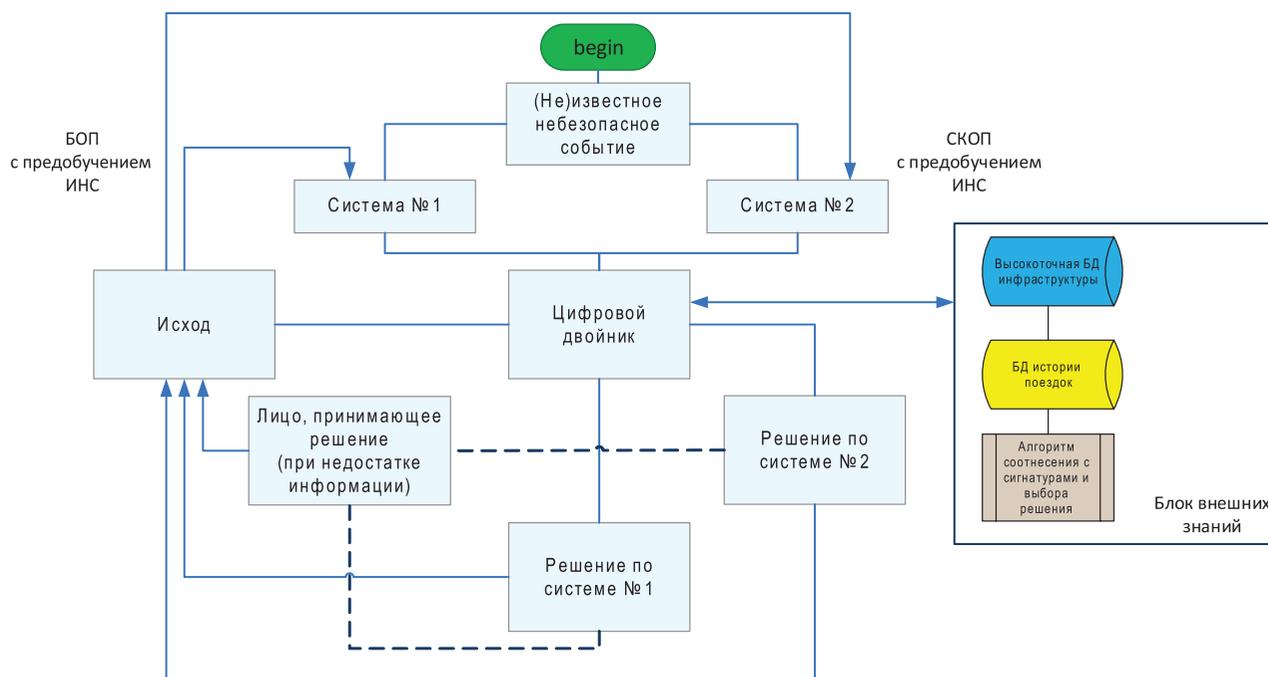


Рис. 6. Схема управления с виртуальной моделью

человека, микроконтроллеры. Для выбранных блоков и устройств затем формализуется поведение в нормальном и аварийном сценариях в таком формате: «в нормальных условиях блок N системы X обеспечивает (гарантирует) объекту заданное свойство в заданном диапазоне».

Набор подобных утверждений в отношении элементов структурной иерархической схемы делает простым и доступным построение таблицы небезопасных управляющих действий (небезопасных управлений). Формат описания задается таблицей: опасности на системном уровне/управляющие действия/не исполняются/неверно исполняются/управление слишком раннее или слишком позднее/время исполнения данного управления слишком малое или слишком долгое.

Последние 4 рубрики составляют небезопасные сценарии (управляющие действия). Для каждого небезопасного управления описывается комплекс «причина – ограничение», при этом ограничение описывает принципы безопасного поведения в той или иной ситуации при выбранных небезопасных управлениях. Например, контур «поезд – центр дистанционного контроля и управления ЦДКУ – стационарный комплекс обнаружения препятствий в зонах ограниченной видимости СКОП» содержит в себе, как минимум, два источника небезопасного управления: это сигнал из ЦДКУ, который может не поступить на поезд, и система СКОП, которая может не отправить запрос или отправить его слишком поздно. В результате связь становится критическим источником риска для всей системы транспортного обслуживания МЦК.

Отдельное исследование в дальнейшем, очевидно, потребуется для рассмотрения небезопасных сценариев, которые могут иметь место на границе или при пересечении идентифицированных комплексов «причина – ограничение», или контуров управления. Особое вни-

мание должно быть уделено «пересечению» контуров «ЦДКУ – СКОП» и «блок обнаружения препятствия БОП – ЦДКУ», поскольку существует вероятность небезопасного управления со стороны обоих контуров при нахождении поезда в зоне ограниченной видимости (действия СКОП). При этом следует иметь в виду, что ни тот, ни другой контур не является полностью наблюдаемым, так как и БОП, и СКОП построены на использовании алгоритмов машинного обучения (искусственных сверточных нейросетей семейства VoVNet), поведение которых не может считаться до конца предсказуемым.

Это может привести в последующем к необходимости пересмотра и корректировки модели безопасности системы транспортного обслуживания путем введения дополнительного элемента, выполняющего функцию контроля и ограничения. В качестве ограничителя изучаются разные варианты – от конечного автомата на «жесткой» логике до сети-супервайзера. На рис. 6 представлена упрощенная схема управления с виртуальной моделью («цифровым двойником»), которая может быть реализована как «контролируемая искусственная нейронная сеть».

К сожалению, супервайзер в виде так называемой «контролируемой искусственной нейронной сети» обладает задержкой (если правильное решение не вырабатывается на втором шаге, то его поиск может длиться свыше двух шагов и до бесконечности, пока не будет прерван лицом, принимающим решение), а кроме того, алгоритмы оценки допустимости и выработки решений в супервайзере должны быть достаточно быстродействующими, чтобы общая задержка была разумной во времени. При этом уровень уверенности P , возвращаемый алгоритмом выработки решений, всегда будет меньше 100%. Надеемся, что последующие исследования смогут решить указанные вопросы.

4. Выводы

При повышении уровня автоматизации и переходе к полностью автоматическому режиму управления для системы транспортного обслуживания возникают дополнительные риски безопасности, связанные с не до конца предсказуемым поведением входящих в ее состав подсистем, вследствие использования в них методов машинного обучения. Введение в контур управления модулей автоматического обнаружения препятствий на основе искусственных нейронных сетей крайне усложняет задачу анализа рисков и угроз и оценку безопасности с помощью традиционных методов построения деревьев ошибок и анализа отказов и их последствий FTA и FMEA. Очевидно, что при построении модели безопасности столь сложных многоконтурных систем транспортного обслуживания требуется применение комплексного подхода.

Данный подход должен обязательно включать системный анализ небезопасных эксплуатационных сценариев с формированием библиотеки причинно-обусловленных сценариев и формализацией описания модели угроз, в том числе на границах различных контуров управления. Результатом системного анализа может стать последующий пересмотр и корректировка модели безопасности проектируемой системы транспортного обслуживания и вывод о необходимости наличия в модели дополнительного элемента, выполняющего функцию контроля и ограничения – например, путем реализации решающего алгоритма на основе цифрового двойника. При этом введение в состав системы цифрового двойника (или виртуальной модели) – совершенно новый и не апробированный подход к обеспечению безопасности системы, требующий дополнительных исследований и разработок. Остается надеяться, что дальнейшие работы в этом направлении позволят обосновать возможность создания «контролируемой искусственной нейронной сети», отвечающей традиционным требованиям безопасности, предъявляемым к системам транспортного обслуживания, либо разработать иной адекватный алгоритм контроля и ограничения.

В свою очередь, предложенный в статье подход на основе системного анализа и теории управления может стать универсальной методологической платформой для моделирования и проектирования систем беспилотного транспортного обслуживания. Как логическое развитие, в дальнейшем может также последовать разработка и создание на базе изложенного подхода специализированного программного комплекса для автоматизированной оценки уровня риска проектируемых систем и технологических процессов.

Библиографический список

1. World Report on Metro Automation. URL: <https://www.uitp.org/publications/world-report-on-metro-automation/>
2. IEC 26690:2014. Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts.

3. Шубинский И.Б., Шебе Х., Розенберг Е.Н. О функциональной безопасности сложной технической системы управления с цифровыми двойниками // Надежность. 2021. № 1. С. 38-44.

4. Qi Y., Cao Y., Sun Y. Safety analysis on typical scenarios of GTCS based on STAMP and STPA // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. Т. 768. № 4. P. 042042.

5. Leveson N.G., A systems-theoretic approach to safety in software-intensive systems // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. 2004. Vol. 1. No. 1 P. 66-86.

6. Chaima Bensaci, Youcef Zennir, Denis Pomorski. A Comparative Study of STPA Hierarchical Structures in Risk Analysis: The case of a Complex Multi-Robot Mobile System. // European Conference on Electrical Engineering & Computer Science, EECS 2018, Dec 2018, Bern, Switzerland.

7. ISO/PAS 21448:2019 (SOTIF). Road Vehicles – Safety of the Intended Function.

8. Попов П.А. Развитие отечественных и зарубежных беспилотных технологий // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 9. С. 6-12.

9. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: Издательство МЦНМО, 2004. 32 с.

10. Yan F., Zhang S., Tang T. Autonomous Train Operational Safety assurance by Accidental Scenarios Searching // 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). IEEE, 2019. P. 3488-3495.

Сведения об авторах

Алексей Валерьевич Озеров – начальник Международного управления АО «НИИАС», ул. Нижегородская, д. 27, стр. 1, Москва, Российская Федерация, 109029, e-mail: a.ozarov@vniias.ru

Алексей Михайлович Ольшанский – кандидат технических наук, руководитель Центра перспективных разработок НТК по РОД и ОПР АО «НИИАС», ул. Нижегородская, д. 32, стр. Б, оф. 512, Москва, Российская Федерация, 109029, e-mail: a.olshanskiy@vniias.ru

Вклад авторов в статью

Автором **Озеровым А.В.** проанализированы основные подходы, выявлены их преимущества и недостатки, разработана общая схема управления и обеспечения безопасности, базовые эксплуатационные сценарии, схема управления с виртуальной моделью.

Автором **Ольшанским А.М.** предложены концепция «контролируемой искусственной нейронной сети» и последовательность действия по описанию угроз функциональной безопасности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Закономерности распространения возгораний и взрывов боеприпасов на стационарных объектах хранения

Вадим А. Злобин, Общевоинская академия, Москва, Российская Федерация
vadimzlobin@rambler.ru



Вадим А. Злобин

Резюме. Цель. Предложить подход к определению закономерностей статистических рядов, содержащих информацию о времени, месте и внешних условиях возникновения и распространения чрезвычайных ситуаций с возгораниями и взрывами боеприпасов на стационарных объектах хранения, синтезировать функцию частного показателя риска проявления этих ситуаций – энергетической восприимчивости системы хранения запасов боеприпасов к внешним воздействиям. **Методы.** В статье применяются методы математического анализа статистических рядов и теории вероятностей. Отдельные внешние условия чрезвычайных ситуаций с боеприпасами в статистических рядах анализируются впервые (интенсивность инсоляции солнечного излучения). **Результаты.** Собраны и систематизированы статистические данные о чрезвычайных ситуациях с возгораниями и взрывами, произошедших в текущем веке на объектах хранения боеприпасов различных стран мира, чрезвычайность которых подтверждена общественным резонансом в средствах массовой информации. С помощью используемых методов анализа статистических рядов установлена степенная зависимость интенсивности возгораний и взрывов от общего энергонасыщения системы хранения запасов боеприпасов. **Выводы.** Частота чрезвычайных ситуаций с возгораниями и взрывами боеприпасов зависит от общего уровня энергонасыщения системы хранения, который определяется интенсивностью солнечной радиации в районе расположения объекта хранения боеприпасов, зависящей от его географической широты и времени года. Предложенный подход позволяет на основании анализа эмпирических данных о времени и месте чрезвычайного происшествия определить значения частного показателя живучести системы хранения потенциально-опасных объектов, характеризующего энергетическую восприимчивость системы к воздействиям, инициирующим взрывы и пожары.

Ключевые слова: боеприпасы, взрывчатое вещество, возгорание, взрыв, фактор, арсенал, живучесть.

Для цитирования: Злобин В.А., Закономерности распространения возгораний и взрывов боеприпасов на стационарных объектах хранения // Надежность. 2021. №2. С. 38-45. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-38-45>

Поступила 16.11.2020 г. / После доработки 14.05.2021 г. / К печати 21.06.2021 г.

Введение

Чрезвычайность любых явлений объективного мира определяется через сравнение их с подобными явлениями по признакам частоты наступления и степени трансформации внешней среды в ходе события. Закономерности возникновения редких событий с большими потенциальными последствиями являются предметом исследования теории риска. От качества оценки и анализа рисков событий зависит эффективность управления сложными потенциально опасными системами, к которым относится и система хранения ракет и боеприпасов (БП).

Для оценки рисков в поведении сложных систем сегодня наряду с аналитическими моделями широко используются методы имитационного моделирования, анализа деревьев событий и решений, эвристические методы получения знания и технологии нейрокомпьютерного программирования и обучения. Адекватность оценок, получаемых при использовании того или иного метода анализа явлений и синтеза научных знаний, зависит от качества и количества получаемой информации (исходных данных) и совершенства механизма ее анализа и синтеза. При этом чем больше факторов будут учитываться при анализе риска, тем адекватнее модель поведения системы и выше точность оцениваемого риска. Такой подход позволяет синтезировать функцию риска чрезвычайной ситуации в виде мультипликативной свертки частных показателей r_i

$$R(r_1, \dots, r_i, \dots, r_n) = \prod_{i=1}^n f^{\alpha_i}(r_i).$$

Помимо факторов антропогенного, техногенного и природного воздействия, характеризующих вероятности событий, способных вызвать чрезвычайные ситуации, в качестве дополнительного частного показателя функции риска целесообразно исследовать общий уровень восприимчивости системы к энергетическим воздействиям, от которого зависит вероятность распространения чрезвычайной ситуации во времени и пространстве.

Во многих ранее проведенных исследованиях [1-10] на основе статистических данных проводился анализ первопричин возникновения таких чрезвычайных ситуаций с возгораниями и взрывами (ЧСВВ). В настоящей статье рассматриваются внешние энергетические условия, способствующие распространению пожаров и взрывов. Первоисточником энергии для всех процессов, происходящих на земной поверхности, является лучистая энергия Солнца, называемая солнечной радиацией. Энергия звездной радиации и тепло, поступающее на поверхность Земли в результате процессов, происходящих в ее глубинных слоях, ничтожно малы по сравнению с солнечной радиацией [11]. Генезис органических веществ, составляющих основу горючих и взрывчатых материалов, является, по сути, процессом накопления в ходе миллиардов лет биотрансформаций энергии первоисточника в молекулярных связях субстрата материи.

Целью статьи является выявление новых закономерностей между уровнем энергонасыщения системы и частотой ЧСВВ на объектах хранения БП.

1. Постановка задачи

Способность взрывающихся и горящих материалов инициировать возгорания пожарной нагрузки и взрывы других веществ по принципу «домино» обуславливает потенциальную опасность объектов хранения БП. Хранимые запасы БП по сути представляют собой аккумуляторы разрушительной энергии, объединенные потенциальными связями ее инициирования. Ущерб от разрушительной работы данной энергии зависит от энергетического потенциала химических элементов в БП, энергетического потенциала пожарной нагрузки на объекте хранения (тары, строений, растительного покрова) и степени потери контроля за ходом высвобождения энергии. Таким образом, уровень ЧСВВ БП обуславливается не только уровнем целенаправленного управляющего воздействия на систему, но и внутренними свойствами системы, ее энергетической емкостью. Очевидно, что при нулевом уровне энергонасыщения системы (температура абсолютного нуля) течение химических процессов в материалах невозможно. Другим краевым условием появления и распространения ЧСВВ является энергонасыщение системы до уровня начала экзотермической реакции в органических материалах. Для дымных порохов воспламенение становится возможным при многочасовом воздействии температуры более 400°K. Таким образом, интенсивность взрывов и пожаров на каждом объекте хранения должна зависеть от интенсивности ввода энергии в систему. При известных краевых энергетических условиях достоверного или невозможного наступления события инициации взрывов и пожаров необходимо определить функцию влияния энергонасыщения системы на частоту взрывов и пожаров в системе для определения частного показателя риска – уровня восприимчивости системы к энергетическим воздействиям.

2. Обзор ранее проведенных исследований

Как правило, ЧСВВ являются следствием воздействия факторов умышленного или неумышленного воздействия человека (антропогенный фактор), ошибок или отказов техники (техногенный фактор) и стохастического воздействия стихии (природный фактор). Каждый из этих факторов зависит от пространственно-временных характеристик системы.

В работах [1–9] отмечается преобладание «человеческого фактора» в причинно-следственных связях появления ЧСВВ. Так, в работе [6] на основе анализа значительного массива статистических данных отмечается, что количество пожаров техногенной группы при повышении температуры воздуха уменьшается

$[r = -0,72]$, а количество пожаров по социальной группе причин наоборот увеличивается $[r = 0,73]$. Количество пожаров по прочим причинам с динамикой температуры не связано.

Распределение происшествий по месяцам года исследовалось в работах [1, 2]. В данных работах была выявлена закономерность увеличения частоты происшествий в пожароопасные периоды. Например, из 73 ЧСВВ на объектах хранения БП, рассматриваемых в [2], 93 % имели место в теплое время года с марта по октябрь. Это обстоятельство авторы связывают с тем, что большинство плановых работ по обращению с БП проводится в теплое время года, причем на май приходится начало таких работ, а в октябре они заканчиваются [2, с. 32]. Вместе с тем необходимо отметить, что с возрастанием температуры окружающей среды в системе повышается интенсивность химических процессов, снижается энергетический порог инициации реакции горения и взрыва и увеличивается объема пожарной нагрузки на территории объекта хранения. Таким образом, повышение общего энергонасыщения системы влияет на частоту взрывов и пожаров.

3. Определение исходных данных

Для достижения поставленной цели изучены особенности развития ЧСВВ, выявленные в ходе проведения анализа статистических данных о времени, месте и внешних условиях массовых взрывов БП на стационарных складах в странах мира, начиная с 01.01.2001 г., полученные из открытых источников информации. Сам факт появления в средствах массовой информации сведений об этих происшествиях позволяет квалифицировать их как «чрезвычайные» и свидетельствует о проявлении в последовательности массовых взрывов и пожаров исследуемых энергетических связей.

От лучистой энергии Солнца зависят температура и влажность окружающей среды, интенсивность конвективных потоков воздушных масс и их статическая напряженность, влияющие на взрывопожаробезопасность системы хранения. Причинно-следственные связи известны: высокая температура и низкая влажность окружающей среды высушивают пожарную нагрузку в районе ЧСВВ и повышают уровень чувствительности взрывчатых веществ и порохов к инициирующим воздействиям; конвективные потоки кислородосодержащего воздуха способствуют поддержанию реакции горения; статическое напряжение разряжается, образуя молнии из высокотемпературной плазмы.

Почти всю радиационную энергию от Солнца (90%) Земля получает на верхней границе атмосферы [11]. Количество тепла, приносимого солнечной радиацией на 1 см^2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, в 1 мин называется интенсивностью солнечной радиации, которая определяется по формуле:

$$I = S/4\pi r^2,$$

где: S – мощность излучения (энергетическая светимость) Солнца, равная примерно $4 \cdot 10^{20}$ МВт; r – расстояние от Земли до Солнца.

При среднем расстоянии Земли от Солнца ($r = 149,600$ млн км) интенсивность солнечной радиации составляет $1,98 \text{ кал}/(\text{см}^2 \text{ мин})$ или $1,37 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Эта величина называется солнечной постоянной. Энергетический спектр солнечной радиации на границе атмосферы близок к спектру абсолютно черного тела с температурой порядка 6000 К .

Распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы и ее изменение по времени зависят от следующих причин:

1. От степени активности Солнца. В годы наибольшей активности мощность солнечной радиации может увеличиваться на 2 %. С возрастанием активности солнечной деятельности на Земле увеличивается интенсивность магнитных и ионосферных возмущений, влияющих на техногенный и антропогенный факторы возникновения ЧСВВ;

2. От расстояния между Землей и Солнцем. Так как орбита Земли представляет собой эллипс, в январе расстояние $r_1 = 147,100$ млн км, а в июле – $r_7 = 152,100$ млн км. В день зимнего солнцестояния напряженность солнечной радиации примерно на 3,3 % больше чем весной и осенью, а в день летнего на 3,3 % меньше.

3. От угла падения лучей Солнца на поверхность Земли. Величина приходящей солнечной радиации (инсоляции) меняется во времени в связи с отклонением земной оси от перпендикуляра к плоскости орбиты на $23^\circ 30'$.

Таким образом, причиной годового и суточного циклов атмосферных явлений является вращение Земли вокруг Солнца и наклон земной оси. Если обозначить через h_0 высоту Солнца, то непосредственно на единицу горизонтальной поверхности приходится радиации во столько раз меньше, во сколько площадь поверхности больше площади потока.

Интенсивность солнечной радиации, подающей на поверхность под углом h_0 равна

$$I_h = I_0 \cdot \sin h_0,$$

где: I_0 – интенсивность потока солнечной радиации, приходящегося в течение 1 мин на 1 см^2 перпендикулярной поверхности, h_0 – угол падения потока на поверхность. Из астрономии известно, что

$$\sin h_0 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \psi,$$

где φ – широта места; δ – склонение Солнца; ψ – местный часовой угол Солнца.

Следовательно, приток тепла от солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, зависит:

1. От широты места φ , чем в основном обуславливаются различия климатических поясов земного шара;

2. От склонения Солнца δ , которое изменяется в течение года от $\delta = 23,44^\circ \text{N}$ до $\delta = 23,44^\circ \text{S}$, чем обуславливаются времена года;

3. От местного часового угла Солнца ψ , которым обуславливается суточный ход интенсивности солнечной радиации;

4. От расстояния между Землей и Солнцем r .

Табл. 1. Чрезвычайные ситуации с возгораниями и взрывами боеприпасов

№ п/п	Место ЧС	Широта ϕ (градусы)	Дата ЧС	Номер дня года	Суточная инсоляция Q (МДж/м ²)
1	2	3	4	5	6
1	Австрия, н.п. Дессельбрун округ Фекларбрук	48,02	01.02.2018	32	12,635
2	Азербайджан, г. Ширван	39,92	26.07.2016	208	40,022
3	Азербайджан, п. Гилязи Хазынского района	40,87	27.08.2017	239	34,957
4	Албания, н.п. Земелан	41,32	06.05.2006	126	38,043
5	Албания, с. Гердек	41,42	15.03.2008	75	26,792
6	Алжир, пров. Айн-Дефла	36,32	18.10.2015	291	24,974
7	Афганистан, д. Башгах	34,52	02.05.2005	122	38,331
8	Афганистан, пров. Парван	35,02	23.03.2006	82	31,135
9	Болгария, г. Челопчен	42,70	03.07.2008	185	41,771
10	Болгария, г. Костенец	42,27	08.08.2014	220	38,144
11	Болгария, г. Костенец	42,27	20.03.2015	79	27,434
12	Болгария, н.п. Иганово	42,67	04.04.2015	94	31,076
13	Болгария, г. Казанлык	42,62	25.04.2016	116	36,007
14	Болгария, г. Мыглиж	42,60	27.05.2016	148	40,776
15	ФРГ, Гамбург	53,55	30.08.2002	242	30,118
16	Йемен, г. Аден Йемен	12,78	28.03.2015	87	37,158
17	Индия, штат Махараштра	21,27	31.05.2016	152	39,728
18	Индонезия, п. Танджунг-Приок	-1,08	05.03.2014	64	37,934
19	Ирак, г. Багдад	33,35	06.06.2018	157	41,279
20	Казахстан, п. Токрау	46,83	08.08.2001	220	37,371
21	Казахстан, п. Арыс Казахстан	42,43	20.03.2009	79	27,358
22	Казахстан, п. Караой Алмагинской обл	43,52	08.06.2009	159	41,596
23	Казахстан, станция Отар Казахстан	43,55	27.08.2013	239	34,237
24	Казахстан, п. Арыс Казахстан	42,43	26.06.2014	177	41,994
25	Казахстан, н.п. Арысь	42,43	24.06.2019	175	42,012
26	КНР, г. Хэньян	26,97	18.06.2014	169	40,848
27	Конго, г. Мбужи-Майи	-5,50	26.01.2014	26	38,373
28	Мозамбик, н.п. Мапуту	-25,23	22.03.2007	81	34,061
29	Нигерия, г. Лагос	6,45	27.01.2002	27	34,254
30	Россия, п. Подали Хабаровского края	50,55	17.01.2001	17	8,715
31	Россия, г. Нерчинск Читинской обл.	51,98	22.06.2001	173	41,797
32	Россия, п. Гусиное Озеро Бурятия	51,12	20.07.2001	201	39,885
33	Россия, г. Сызрань Самарская область	53,17	10.07.2002	191	40,881
34	Россия, п. Снеговая Падь Приморского края	43,12	16.10.2002	289	21,853
35	Россия, г. Хабаровск	48,48	13.06.2003	164	41,711
36	Россия, г. Норск Амурской области	52,33	18.06.2003	169	41,721
37	Россия, п. Кипарисово Приморского края	43,47	13.07.2003	194	41,207
38	Россия, с. Ачхой-Мартан Чеченской респ.	43,18	07.12.2004	342	12,168
39	Россия, г. Кронштадт	60,00	17.05.2005	137	36,768
40	Россия, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия	51,83	16.06.2005	167	41,683
41	Россия, с. Южные Коряки Приморского края	53,27	01.10.2005	274	20,459
42	Россия, пос. Лодейное поле Ленинградской обл.	60,73	23.05.2008	144	38,208
43	Россия, п. Фокино, Приморский край	42,97	30.09.2008	274	25,822
44	Россия, п. Карабаш, Челябинская обл.	55,48	14.09.2009	257	24,647
45	Россия, г. Ульяновск	54,32	13.11.2009	317	8,711
46	Россия, г. Ульяновск	54,32	23.11.2009	327	7,089
47	Россия, п. Арга, Амурская область	51,27	28.10.2010	301	14,053
48	Россия, п. Дачный Липецкой области	52,62	06.04.2011	96	27,590
49	Россия, п. Урман, Башкирия	55,47	26.05.2011	146	39,297

№ п/п	Место ЧС	Широта ϕ (градусы)	Дата ЧС	Номер дня года	Суточная инсоляция Q (МДж/м ²)
50	Россия, п. Пугачево, Удмуртия	56,60	02.06.2011	153	40,199
51	Россия, п. Сургач, Приморского края	45,52	18.05.2012	139	39,480
52	Россия, п. Колтубановский Оренбургской обл.	49,02	11.06.2012	163	41,639
53	Россия, с. Орловка Оренбургской обл.	48,83	09.10.2012	283	20,290
54	Россия, г. Чапаевск, Самарская обл.	52,98	18.06.2013	169	41,689
55	Россия, с. Большая Тура, Забайкальский край	51,62	29.04.2014	119	34,384
56	Россия, п. Пугачево Удмуртия	56,60	04.05.2015	124	34,270
57	Россия, п. Урман, Башкирия	55,47	03.06.2015	154	40,432
58	Россия, п. Юганец Нижегородской обл.	56,23	04.08.2016	217	36,005
59	Россия, г. Самара	53,18	18.10.2016	292	15,238
60	Россия, п. Халино Курской области	51,73	21.04.2017	111	32,268
61	Россия, п. Галичный Хабаровского края	50,72	29.07.2017	210	38,522
62	Абхазия, с. Приморское (база РФ)	42,58	02.08.2017	214	39,017
63	Россия, п. Пугачево	56,60	16.05.2018	136	37,198
64	Россия, д. Каменка Красноярского края	56,27	05.08.2019	217	35,997
65	Россия, п. Желтухино Рязанской обл.	53,75	07.10.2020	281	18,063
66	Сербия, н.п. Парачин	43,97	19.10.2006	292	20,621
67	Сирия, Дейр-Эз-Зор	35,33	08.10.2017	281	27,710
68	Сирия, г. Дамаск	33,52	02.09.2018	245	35,600
69	Сирия, н.п. Аббу-Дали	34,43	14.06.2019	165	41,596
70	Сирия, г. Дамаск (Машруа ад-Думмар)	33,52	15.06.2019	166	41,547
71	Сирия, н.п. Шайрат	34,48	03.08.2019	215	39,559
72	Сирия, г. Румилан	36,48	21.06.2020	173	41,824
73	Сирия, г. Хасеке	36,48	16.07.2020	198	40,995
74	Словакия, г. Новаки	48,72	03.03.2007	62	19,452
75	Судан, г. Джуба	4,85	23.02.2005	54	36,607
76	Япония, г. Сагамихара (база США)	35,57	24.08.2015	236	36,663
77	США, г. Леттеркенни США	39,93	19.07.2018	200	40,815
78	Туркменистан, пос. Абадан	38,05	08.07.2011	189	41,544
79	Турция, пров. Диярбакыр	37,90	16.09.2015	259	31,608
80	Турция, пров. Килис	36,72	13.07.2017	194	41,250
81	Турция, н.п. Хаккари	37,57	09.11.2018	313	19,621
82	Турция, г. Рейханлы	36,27	09.08.2019	221	38,739
83	Узбекистан, Каганский район Бухарской обл.	39,72	10.07.2008	192	41,407
84	Украина, г. Артемовск Донецкой обл.	48,60	10.10.2003	283	20,421
85	Украина, с. Новобогдановка Запорожской обл.	47,05	06.05.2004	127	37,235
86	Украина, с. Новобогдановка Запорожской обл.	47,05	23.02.2005	54	18,258
87	Украина, с. Цвитоха Хмельницкой обл.	50,23	06.05.2005	126	36,363
88	Украина, с. Новобогдановка Запорожской обл.	47,05	19.08.2006	231	35,058
89	Украина, г. Лозовая Харьковской обл.	48,88	27.08.2008	240	32,352
90	Украина, г. Сватово Луганской обл.	49,40	29.10.2015	302	14,941
91	Украина, н.п. Геевка	49,50	08.03.2016	68	20,719
92	Украина, г. Хмельницкий	49,42	22.07.2016	204	39,658
93	Украина, г. Балаклея Харьковской обл.	49,45	23.03.2017	82	24,865
94	Украина, г. Мариуполь	47,12	22.09.2017	265	26,280
95	Украина, пос. Калиновка Винницкой обл.	49,43	26.09.2017	269	24,000
96	Украина, г. Балаклея Харьковской обл.	49,45	03.05.2018	123	35,887
97	Украина, г. Ичня Черниговской обл.	50,85	09.10.2018	282	19,436
98	Франция, г. Газо	43,02	07.10.2003	280	24,229
99	Шри-Ланка, г. Салава	6,92	05.06.2016	157	36,159
100	Эквадор, г. Латакунга	-0,27	07.11.2016	312	37,136

При анализе параметров оцениваемой системы географические координаты потенциально опасных объектов, являются изначально заданными пространственными характеристиками.

Значения склонения Солнца (δ), времени восхода и заката для конкретных дат можно определить с помощью солнечного калькулятора: <http://www.timezone.ru/suncalc.php>.

С ошибкой $\pm 0,2^\circ$ значение склонения Солнца вычисляется по известной (Википедия) формуле:

$$\delta = -\arcsin(0,39779 \cdot \cos(0,98565^\circ \cdot (N + N_{\text{дсс}})) + 1,914^\circ \sin(0,98565^\circ \cdot (N - N_{\text{п}})))$$

где: N – порядковый номер оцениваемого дня с 1 января; $N_{\text{дсс}}$ – количество дней после декабрьского солнцестояния до 1 января ($N_{\text{дсс}} = 10$); $N_{\text{п}}$ – количество дней после 1 января до перигелия ($N_{\text{п}} = 2$).

Местный часовой угол Солнца ψ связан с широтой и склонением солнца соотношением:

$$\psi = \arccos(-\text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \delta).$$

Расстояние между Землей и Солнцем r определяется по формуле

$$r = \frac{r_0 (1 - E^2)}{1 - E \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon}\right)},$$

где: $r_0 = 149,6$ млн км – среднее расстояние от Земли до Солнца, $E = 0,0167$ – эксцентриситет орбиты Земли, $\arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon}$ – геоцентрическая долгота Солнца.

Вычисление всех аргументов, влияющих на приток тепла, позволяет определить суточную инсоляцию Q в районе ЧСВВ в день происшествия по формуле:

$$Q = \frac{I_0 T}{\pi (r/r_0)^2} (\psi \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \psi),$$

где: Q – суточная сумма инсоляции, МДж/м²; I_0 – солнечная постоянная, равная 1,37 кВт/м²; T – период суточного вращения Земли (равен 86 400 с).

В табл. 1 представлены исходные данные и вычисленные значения суточной инсоляции для каждого места и времени ЧСВВ.

Пространственно-временное распределение анализируемой совокупности ЧСВВ представлено на рис. 1.

4. Определение зависимости частоты ЧСВВ от энергонасыщения

Определенные значения суточной инсоляции в районах дислокации складов в период ЧСВВ позволяют нам провести статистический анализ по данному энергетическому признаку всей генеральной совокупности взорвавшихся складов (см. рис. 1).

Частотное распределение 100 ЧСВВ по признаку суточной инсоляции представлено на рис. 2.

Степенная аппроксимация интегрального показателя частоты ЧСВВ с пороговыми значениями инсоляции с достоверностью $R^2 = 0,9976$ позволяет сделать вывод

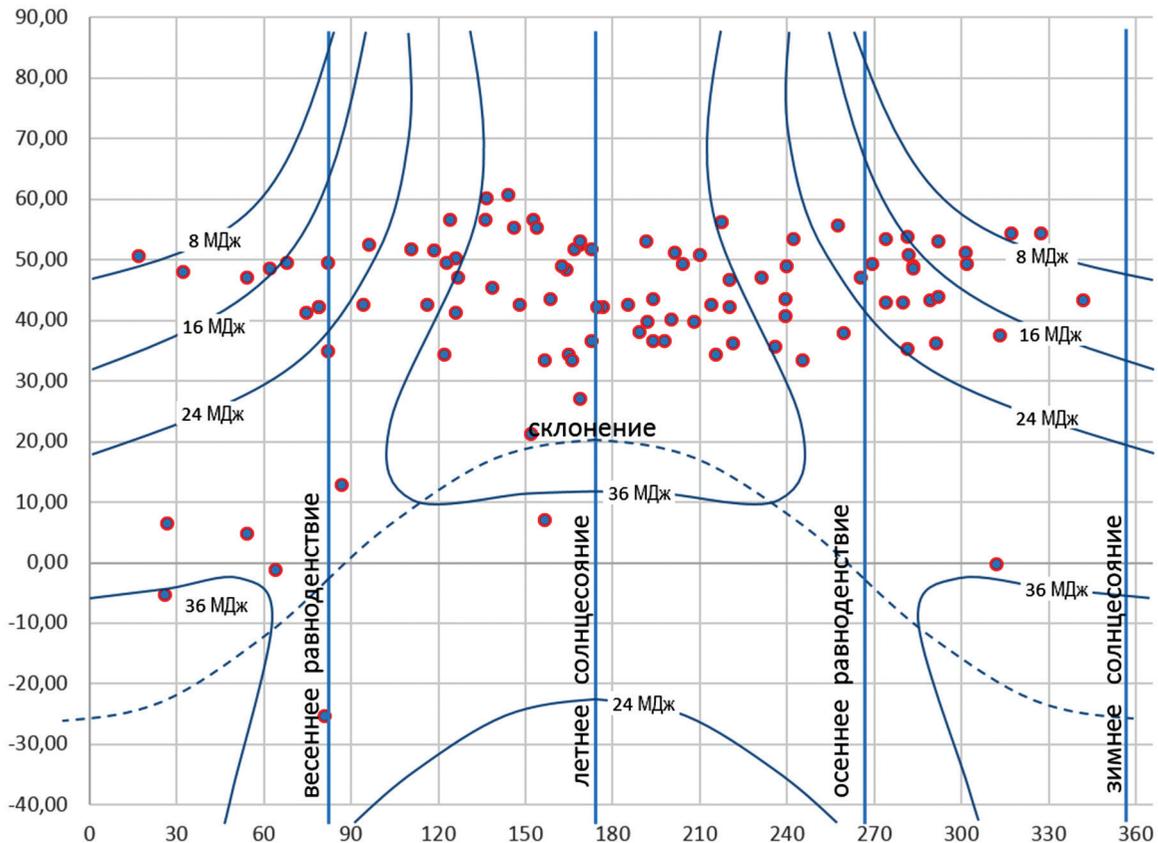


Рис. 1. Пространственно-временное распределение ЧСВВ по дням года и географической широте

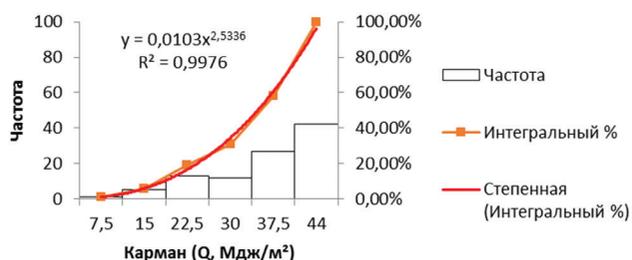


Рис. 2. Распределение ЧСВВ по признаку суточной инсоляции

о зависимости вероятности возникновения взрывов и пожаров от энергонасыщенности внешней среды.

Таким образом, проведенный анализ эмпирических данных позволил синтезировать функцию частного показателя риска – энергетической восприимчивости системы к внешним воздействиям r_3 , выражаемую через значение суточной инсоляции в определенном географическом районе в определенное время

$$r_3 = \frac{0,0103 \cdot Q^{2,534}}{0,0103 \cdot Q_{\max}^{2,534}} = (Q/44)^{2,534}.$$

Физический смысл этого показателя можно трактовать как долевого уровня соответствия энергетических условий внешней среды условиям максимально благоприятным для распространения ЧСВВ.

С учетом предлагаемого частного показателя риска синтезированная функция риска ЧСВВ (r_i) будет представлять собой произведение четырех составляющих:

$$r_i = r_{\text{ц}}^a \cdot r_{\text{у}}^b \cdot r_{\text{ск}}^c \cdot r_3^d,$$

где: $r_{\text{ц}}^a$ – показатель ценности запасов (влияет на выбор объекта для атаки); $r_{\text{у}}^b$ – показатель уязвимости запасов (влияет на эффективность атаки); $r_{\text{ск}}^c$ – показатель социального климата в районе ЧСВВ (отражает агрессивность социальной среды); r_3^d – показатель энергетической восприимчивости (отражает агрессивность внешней среды для развития ЧСВВ).

Специфика использования свертки показателей в виде мультипликаторов связана с тем, что восприятие ожидаемых потерь органами чувств человека имеет логарифмическую шкалу. Кроме того, применение мультипликативной сверки позволяет не нормировать сами частные показатели, которые могут иметь натурное выражение, а ограничиться только нормированием их весовых коэффициентов: a, b, c, d .

5. Обсуждение результатов

Стремительный рост частоты происшествий при возрастании инсоляции может быть связан с рядом причин.

1. Излучения большой энергии (радиоактивное излучение) вызывают изменение свойств порохов. Под воздействием таких излучений в них происходят процессы деструкции и структурирования, могут образовываться ионы и радикалы, которые резко увеличивают скорость расхода стабилизаторов химической стойкости [5].

2. Причиной повышения уровня чувствительности взрывчатых веществ при повышении температуры яв-

ляется ослабление межмолекулярных связей в веществе, способствующее облегченному распространению в нем инициирующих воздействий волновой, кинетической и тепловой природы. С повышением температуры время нагрева деревянной тары до температуры воспламенения и БП до температуры возгорания пороха или взрыва БП уменьшается, глубина проникновения осколков в защитные конструкции увеличивается, процесс затухания волн в средах ослабляется.

3. Степенная зависимость ЧСВВ от уровня инсоляции может быть обусловлена биологическими причинами: возрастанием объемов пожарной нагрузки в местах хранения БП в связи с интенсивным ростом и высушиванием растительного покрова, а также отмеченным ранее возрастанием интенсивности операционной деятельности с БП. Наличие зависимости между данной интенсивностью и уровнем комфортности климатических условий для трудовой деятельности не вызывает сомнений.

4. Увеличение частоты ЧСВВ при повышении инсоляции может быть связано с климатическими причинами увеличения частоты гроз, лесных пожаров, возгораний торфяников и пр.

Заключение

Проведенный анализ статистических данных о происшествиях, повлекших пожары и взрывы на объектах хранения БП, позволил выявить закономерность увеличения частоты ЧСВВ с возрастанием температуры внешней среды и степенную зависимость восприимчивости объектов в системе к внешним воздействиям от общей энергонасыщенности внешней среды.

Восприимчивость к внешним воздействиям отражает долевого соответствие реальных энергетических условий внешней среды тем условиям, которые максимально благоприятны для распространения ЧСВВ. Данные показатель целесообразно использовать в качестве уточняющего коэффициента интегрального показателя риска ЧСВВ.

Противоречивость полученных выводов о влиянии энергонасыщенности среды на ЧС с взрывами БП и о низком уровне корреляции между частотой лесных пожаров и температурой воздуха, декларируемом в работах [6–9], определяет необходимость исследования различий в механизмах влияния энергетических характеристик среды на более стохастические процессы взаимного инициирования взрывов и более детерминированные процессы распространения фронта пожара.

Библиографический список

1. Разработка базовых технических решений построения центров обучения безопасности потенциально-опасных объектов на основе информационно-образовательной и моделирующей среды: Отчет о НИР

«Инструктажцентр» (итоговый) / Филиал ВУН СВ «Общевойсковая академия ВС РФ», г. Пенза; Руководитель В.И. Алчинов. Пенза, 2010. 204 с.

2. Иванов Е.В. Чрезвычайные ситуации со взрывами боеприпасов: закономерности возникновения и протекания // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 1/10 (79). С. 26–35.

3. Лисейчиков Н.И. Обоснование системы показателей живучести арсеналов, баз и складов боеприпасов // Наука и военная безопасность. 2006. № 1. С. 26–29.

4. Севрюков И.Т., Ильин В.В., Козлов В.В. Оценка вероятности развития чрезвычайных ситуаций при хранении рассредоточенных групп боеприпасов // Вестник ИжГТУ. 2013. № 57. С. 38–43.

5. Плющ А.А., Курков С.Н., Еличев К.А. Эксплуатация боеприпасов: Учебник ПАИИ. Пенза, 2004. 287 с.

6. Андреев Ю.А., Амельчугов С.П., Комаров С.Ю. Возникновение и предупреждение пожаров на объектах Сибири и Дальнего Востока // Сибирский вестник пожарной безопасности. 1999. № 1. С. 22–46.

7. Андреев Ю.А. Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах: Дис... доктора техн. наук: 05.26.03. Москва, 2003. 273 с.

8. Батуро А.Н. Закономерности возникновения пожаров по различным группам причин // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2012. № 2. С. 43–51.

9. Глаголев В.А. Оценка и прогноз возникновения пожаров растительности на территории Еврейской автономной области: Дис... канд. геогр. наук: 25.00.36. Биробиджан, 2015. 147 с.

10. Горев Г.В. Оценка климатической предрасположенности территории к возникновению лесных пожаров

(на примере Томской области): Автореф. дис... канд. геогр. наук: 25.00.36. Томск, 2004. 24 с.

11. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии: Учебное пособие. Часть I. СПб.: РГГМУ, 2011. 145 с.

Сведения об авторе

Вадим Александрович Злобин – кандидат технических наук, докторант Общевойсковой академии, Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая ордена Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, Российская Федерация, e-mail: vadimzlobin@rambler.ru

Вклад автора в статью

Автором на основании анализа статистических данных о чрезвычайных ситуациях с возгораниями и взрывами боеприпасов в различных странах мира предложен подход к определению закономерностей статистических рядов, содержащих информацию о времени, месте и внешних условиях возникновения и распространения чрезвычайных ситуаций с возгораниями и взрывами боеприпасов на стационарных объектах хранения и синтезирована функция частного показателя риска проявления этих ситуаций – энергетической восприимчивости системы хранения запасов боеприпасов к внешним воздействиям, установлена зависимость интенсивности возгораний и взрывов от общего энергонасыщения системы хранения запасов боеприпасов.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Риск-ориентированный подход к реализации контрактов жизненного цикла вооружения и военной техники

Виталий А. Дубовский^{1*}, Наталья И. Дубовская², Андрей С. Николаев³

¹Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Российская Федерация, ²Научно-исследовательский институт военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Российская Федерация,

³Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*dubovskiy@inbox.ru



Виталий А.
Дубовский



Наталья И.
Дубовская



Андрей С.
Николаев

Резюме. Цель. Современные условия создания и эксплуатации вооружения и военной техники характеризуются резким возрастанием требований заказчика, что в свою очередь влечет увеличение его технической сложности и стоимости. Совершенно очевидно, что поддержание требуемых значений эксплуатационно-технических характеристик наукоемких образцов вооружения и военной техники силами эксплуатирующих структур не всегда удается, по различным причинам, в том числе ввиду низких возможностей обслуживающих подразделений, не имеющих необходимых сил, средств и компетенций у обслуживающего персонала. В свою очередь, предприятия промышленности, задействованные в выполнении Государственного оборонного заказа, также заинтересованы в формировании долгосрочных отношений с заказчиком, позволяющих выстраивать платформу для устойчивого развития. Одним из возможных вариантов подобного взаимодействия заказчика и исполнителя в мировой и отечественной практике считается государственно-частное партнерство, реализуемое в форме контрактов жизненного цикла. Несмотря на явные преимущества, его внедрение в практику жизненного цикла вооружений и военной техники сдерживается рядом негативных факторов (несовершенство нормативно-правовой и нормативно-технической базы, низкий уровень внедрения информационных технологий в практику жизненного цикла), преодоление которых является важной задачей как с научной, так и с практической точки зрения. Совершенно очевидно, что разработка инструмента, позволяющего парировать весь спектр проблемных вопросов, в рамках настоящего исследования является чрезвычайно сложной задачей. Исходя из указанных обстоятельств, целью статьи является исследование рисков, как одного из аспектов этой сложной проблемы, подразумевающего выработку нового подхода к взаимодействию сторон, вовлеченных в реализацию контракта жизненного цикла образцов вооружений и военной техники, с учетом современных условий, интересов, целей и задач. Его особенностью является комплексный анализ неопределенности и всего спектра возможных рисков, сопровождающих реализацию процессов жизненного цикла вооружений и военной техники. **Методы.** В основу обоснования управленческих решений положен метод дерева решений, позволяющий структурировать сложную проблему принятия решения на составляющие и получить количественные оценки риска и, таким образом, вырабатывать адекватную систему мер по предупреждению возникновения рисков событий и снижению негативных последствий их проявления. **Результаты.** С использованием предложенного научно-методического обеспечения разработан алгоритм управления рисками, сформирована матрица оценок риска и оценки их влияния, определены временные, технические характеристики и финансовые затраты проекта. **Заключение.** Предлагаемый в статье подход является универсальным и может быть использован как должностными лицами органов военного управления при военно-научном сопровождении функционирования КЖЦ, так и менеджментом предприятий Оборонно-промышленного комплекса (ОПК) в ходе выстраивания механизмов взаимодействия с органами военного управления, курирующих вопросы создания и эксплуатации вооружений и военной техники.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, управление рисками, дерево решений.

Для цитирования: Дубовский В.А., Дубовская Н.И., Николаев А.С. Риск-ориентированный подход к реализации контрактов жизненного цикла вооружения и военной техники // Надежность. 2021. №2. С. 46-52. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-46-52>

Поступила 12.02.2021 г. / После доработки 26.04.2021 г. / К печати 21.06.2021 г.

1. Введение

Происходящие повсеместно процессы экономической интеграции государственных организаций и бизнес-структур не могли остаться в стороне от военной организации Российской Федерации. Наибольшее развитие в настоящее время получила технология аутсорсинга [1], подразумевающая передачу ряда несвойственных функций от частей и подразделений Министерства обороны (МО) РФ к частным компаниям. Как правило, она затрагивает мероприятия, связанные с питанием, обеспечением вещевым имуществом и т.п. В свою очередь, привлечение производителей вооружения и военной техники (ВВТ) к послепродажному обслуживанию в настоящее время осуществляется, как правило, в рамках контрактов по сервисному обслуживанию, предмет которых состоит в проведении регламентированного перечня операций по обслуживанию образцов ВВТ, при этом ответственность за техническое состояние и готовность обслуживаемого ВВТ к выполнению задач по предназначению остается за эксплуатантами. Такое положение является недопустимым, так как правовой аспект противоречит техническому и требует выработки альтернативного варианта, учитывающего интересы всех стейкхолдеров, вовлеченных в данные процессы.

О необходимости заключения контрактов жизненного цикла (КЖЦ) ВВТ было заявлено Министром обороны Российской Федерации еще в феврале 2013 года на встрече с представителями предприятий оборонно-промышленного комплекса. Далее последовал Указ Президента РФ, в котором одной из поставленных задач явилось создание системы управления полным индустриальным циклом вооружения, военной и специальной техники.

Следует отметить, что исследование вопросов функционирования КЖЦ в различных сферах экономики не являются новыми. На сегодняшний день известно достаточное количество отечественных [2, 3, 4, 5, 6, 7] и зарубежных публикаций [21, 22, 23, 24], посвященных данной тематике, которые, как правило, носят обзорный характер либо посвящены решению задач по управлению рисками отдельных отраслей хозяйства [8, 9, 10] и локальных вопросов управления КЖЦ продукции машиностроения [11, 12, 13, 14, 15]. Наибольший интерес с практической точки зрения представляет статья [16] посвященная рассмотрению опыта использования КЖЦ развитых стран при проведении госзакупок и аналитический обзор перспектив развития КЖЦ в нашей стране [17], в котором автор подробно рассматривает комплекс проблемных вопросов применительно к специфике ВВТ.

Несмотря на чрезвычайную актуальность данного вопроса и большое количество исследований, посвященных поиску его решения, следует констатировать, что адекватной теоретической платформы для эффективного функционирования КЖЦ ВВТ на сегодняшний день не существует.

Определенный оптимизм добавляет тот факт, что в его поиске заинтересованы все участники ЖЦ ВВТ, каждый из которых преследует свой прагматический интерес.

Так, заказывающий орган МО РФ получает образец с требуемыми тактико-техническими характеристиками, в соответствии с задачами, решаемыми Вооруженными силами (ВС) РФ, исполнитель на основании долгосрочных обязательств, подразумевающих гарантированное финансирование своей деятельности может расширять свой бизнес, а эффект для эксплуатирующих организаций заключается в возможности получения требуемых значений эксплуатационно-технических характеристик ВВТ с помощью сторонних организаций.

Сущность организации такого формата взаимодействия состоит в необходимости перераспределения ответственности между участниками ЖЦ ВВТ. Это означает, что за техническую готовность образцов ВВТ отвечает уже не только эксплуатант, а предприятие, с которым заключен КЖЦ. В таком случае производитель будет заинтересован в создании более надежных образцов ВВТ, что в дальнейшем позволит минимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт. Со своей стороны, заказчик в лице МО РФ обязуется выполнять условия контракта, в том числе и финансовые. Очевидно, что такой шаг повлечет смену существующей парадигмы взаимодействия МО РФ и предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), от успешности осуществления которого во многом будет зависеть эффективность систем вооружения.

Концептуально такая схема взаимодействия устраивает каждого из участников ЖЦ ВВТ, но на практике ситуация не столь радужная, так как имеется ряд серьезных организационных и правовых барьеров, препятствующих их функционированию, они достаточно подробно рассмотрены в [5, 17].

Контракты ЖЦ подтвердили свою эффективность во многих сферах экономики, в том числе и в оборонных ведомствах зарубежных стран [18, 19]. Но специфика функционирования ВС РФ в настоящий момент формирует ряд факторов, которые являются предметом разногласий между Государственным заказчиком и предприятиями ОПК.

Рассмотрим один из них. Так, существующая система взаимодействия выстроена преимущественно для условий мирного времени и штатной эксплуатации ВВТ, что позволяет выдерживать плановые сроки создания, поставок, дальнейшего обслуживания, обоснованно планировать комплекты требуемых запасных частей и принадлежности, периодичность прибытия специалистов и пр.

Для реализации процессов ЖЦ ВВТ в условиях особоного времени будет характерна высокая неопределенность, источники которой находятся: в стохастическом спросе на требуемое количество ВВТ; в невозможности точного прогнозирования мест использования по назначению; в наличии большого числа факторов, которые невозможно предусмотреть и спрогнозировать даже в вероятностной постановке; в нарушении периодичности обслуживания, в преждевременной выработке ресурса, а также высокой вероятности безвозвратных потерь ВВТ. Отдельно стоит вопрос эксплуатации за пределами периода штатной эксплуатации и последующей утилизации.

Таким образом, реализация КЖЦ будет осуществляться в условиях неопределенности и рисков. Эти две категории взаимосвязаны.

Определим *неопределенность* как неполноту и неточность информации об условиях реализации процессов ЖЦ, в том числе связанных с ними затратах и результатах. Неопределенность предполагает наличие факторов, при которых результаты действий не являются детерминированными, а степень возможного влияния этих факторов на результаты трудно прогнозируема. Ее источниками могут послужить дефицит знаний, множество факторов внешней и внутренней среды и их возможные сочетания в процессах ЖЦ ВВТ.

Риск представляет собой потенциальную, измеримую вероятность неблагоприятной ситуации и связанной с ней тяжести последствий в виде несоответствия требованиям заказчика, отказов и неисправностей, убытков исполнителей, неблагоприятных, в том числе форс-мажорных обстоятельств.

Именно наличие большого числа рисков, возникающих в ходе реализации КЖЦ, является одним из главных нерешенных вопросов в настоящее время. В этой связи представляется актуальной разработка механизма реализации КЖЦ, в основу которого будут положены процедуры, позволяющие проводить идентификацию, анализ возможных рисков и выработку соответствующих управленческих решений по их минимизации.

2. Методы

Придерживаясь данных рассуждений, необходимо идентифицировать основные риски, сопровождающие реализацию КЖЦ. Это позволит осуществить их даль-

нейшую декомпозицию и проведение качественного и количественного анализа. На рис. 1 показан обобщенный алгоритм идентификации и управления рисками, иллюстрирующий концептуальный подход к их парированию.

Вполне очевидно, что обеспечить установление всего перечня рисков, сопутствующих процессам ЖЦ ВВТ, является крайне сложной задачей, поэтому была проведена систематизация наиболее вероятных групп рисков с их последующей детализацией до такого уровня, на котором возможно получить их количественные оценки и описать в виде того или иного события (совокупности событий), имеющего конкретные последствия.

В соответствии со сформированным показателем эффективности управления ЖЦ, будем исходить из того, что конечной целью КЖЦ РК будет являться обеспечение требуемого значения коэффициента готовности в рамках установленных бюджетных ограничений. В качестве критерия эффективности будет использоваться минимизация интегрального показателя рисков реализации КЖЦ, включающего следующие виды рисков [8]:

технический риск, характеризующий несоответствие тактико-технических характеристик требованиям тактико-технического задания, что влечет к снижению показателей боевой и эксплуатационной эффективности РК;

экономический риск, характеризующий превышение фактических затрат над запланированными значениями и приводящий к увеличению стоимостных показателей ЖЦ РК;

временной риск, характеризующий несоответствие фактических сроков проводимых мероприятий заданным в календарном плане значениям и приводящий к невыполнению требований заказчика.

Идентификация и анализ факторов указанных рисков осуществляется по ключевым характеристикам ЖЦ РК,

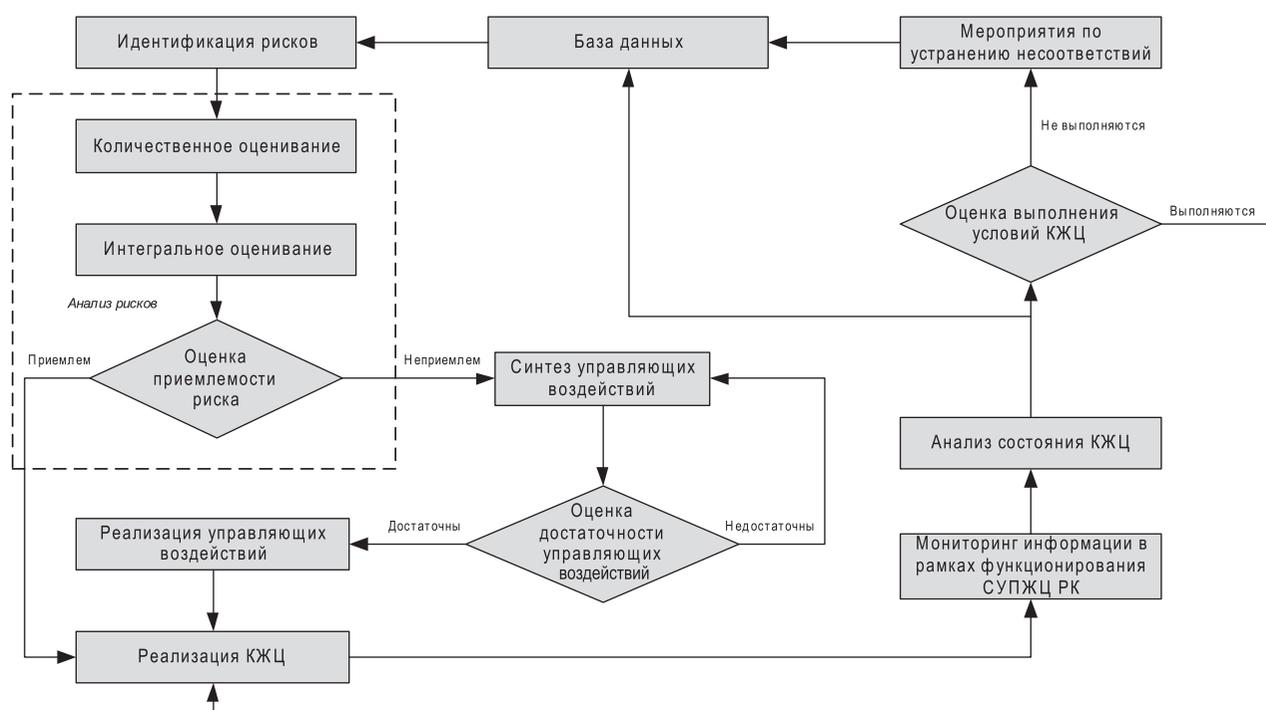


Рис. 1. Обобщенный алгоритм управления рисками при реализации КЖЦ ВВТ

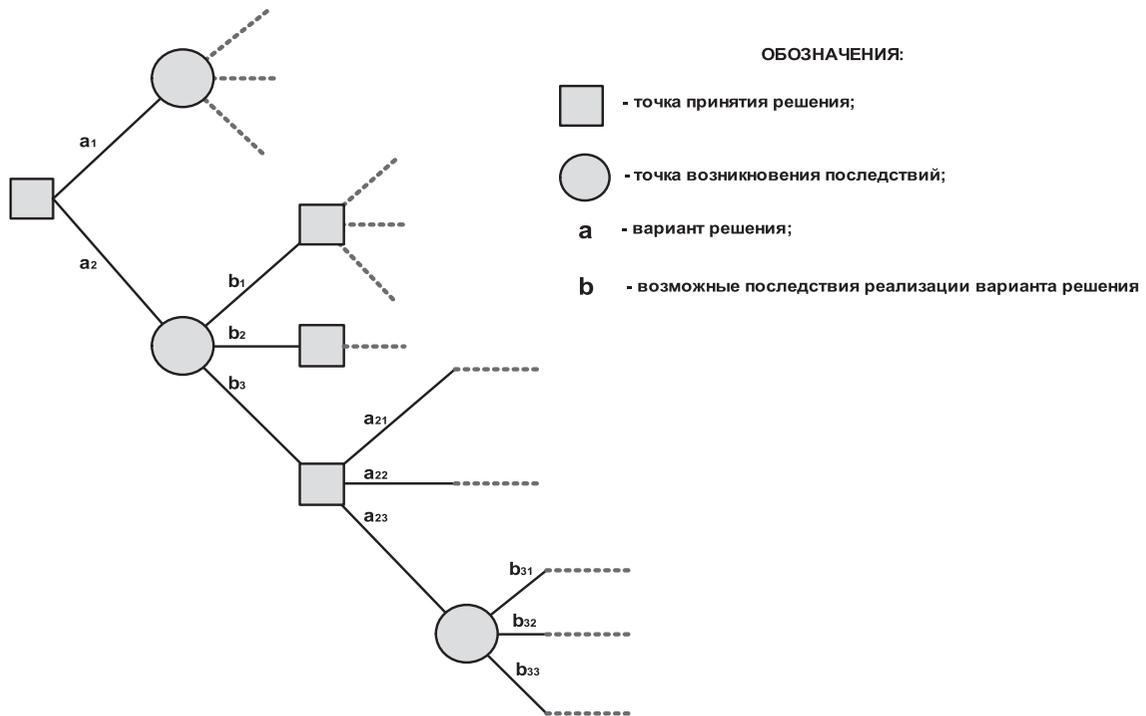


Рис. 2 Общий вид дерева решений

к которым можно отнести: требования заказчика; материально-техническое обеспечение, стоимостные и временные параметры.

В этой связи следует отметить, что драйвером, инициирующим возникновение риска выступает именно неопределенность, которую следует рассматривать в качестве их основного источника. Поэтому анализ и последующее управление рисками выступают в качестве основных объектов, на которых могут быть направлены превентивные воздействия участников ЖЦ, так как устранение последствий свершившихся событий, в т. ч. и рисков относится в большей степени к ситуационному управлению. Это означает, что исследование неопределенности позволяет сформировать эмпирическую основу для последующей идентификации и управления рисками в ходе реализации контрактов ЖЦ РК.

По своей сути контракт ЖЦ РК представляет собой сложный долговременный проект, поэтому преобладающая часть управленческих решений при его реализации требует тщательного обоснования. Удобным инструментом в подобных ситуациях выступает метод дерева решений, позволяющий визуализировать и структурировать сложные проблемы принятия решений в условиях неопределенности и риска (см. рис. 2).

Опорными элементами метода выступают точки принятия решений и точки возникновения последствий данных решений, их количество не лимитировано, следовательно, количество ветвей на дереве также не ограничено. Из каждой точки принятия решения может исходить ветвь, которая представляет собой возможный вариант действий в данной ситуации, при этом для удобства восприятия информации дается краткое описание сути возможного действия. Обозначим на дереве решений возможные дей-

ствия как a_1 и a_2 , реализация каждого из которых может приводить к возникновению последствий из множества b_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$. В свою очередь, каждое из возможных вариантов последствий приводит к следующей точке принятия решения. В этом проявляется удобство данного подхода, позволяющего членить сложную проблему принятия решения до необходимого уровня детализации, тем самым обеспечить тотальный охват предметной области.

Следующим этапом является получение количественных оценок риска событий. Количественная оценка рисков реализации КЖЦ необходима для обоснованного планирования мероприятий, позволяющих предотвратить или устранить негативные последствия рисков событий. В том случае, если существует высокая вероятность их наступления, следует организовывать адекватные мероприятия, которые могут потребовать привлечения больших объемов ресурсов.

В настоящее время наибольшее распространение получили экспертные и статистические методы, но достоверность применения первых во многом зависит от компетенций экспертов, а обязательным условием для вторых является наличие достаточного объема статистических данных, что, как правило, не всегда представляется возможным обеспечить применительно к специфике контрактов ЖЦ. Определенный интерес также представляют методы анализа чувствительности, сценариев и проверки устойчивости, обладающие некоторыми преимуществами и недостатками.

В этой связи предлагается количественное оценивание рисков производить как произведение частоты возникновения рисков события P на величину ущерба S при его наступлении и представить выражением

$$R = P \cdot S.$$

Использование такого подхода с учетом его очевидной простоты является вполне оправданным. Дело в том, что ЖЦ ВВТ является достаточно сложным и продолжительным проектом, поэтому учесть весь спектр возможных рисков не представляется возможным. Но в то же время каждому стейкхолдеру, вовлеченному в данные процессы, важно понимать величину возможного ущерба от реализации того или иного рискованного события на протяжении всего проекта.

3. Результаты и обсуждение

Результаты оценивания риска, как правило, представляют в количественном виде, с размерностью единиц последствий, отнесенных к интервалу наблюдения; но в отдельных случаях, получаемая оценка может быть представлена в качественной форме, например «низкий» или «высокий» (табл. 1). При присвоении тех или иных значений оценок вероятности, особенно в случае невозможности получения количественных значений, их можно сопровождать более развернутыми комментариями.

В целях визуализации результатов оценивания риска и дальнейшего обоснования решений по реализации КЖЦ формируется матрица, состоящая из пяти столбцов (соответствуют шкале частоты появления событий) и пяти строк (соответствуют градациям степени возможного ущерба), на пересечении которых формируется соответствующая интегральная оценка.

Темно серым цветом выделены высокие и неприемлемые значения риска, наличие которых указывает на отсутствие дальнейшей положительной перспективы у проекта, светло-серым обозначены ничтожные и низкие значения риска, не требующие каких-либо действий со стороны ответственных должностных лиц. В свою очередь, нахождение оценок в серых квадрантах обуславливает потребность проведения соответствующих мероприятий по снижению риска. Применительно к

полному жизненному циклу их набор достаточно велик и будет отличаться в зависимости от конкретных условий и этапа ЖЦ. В фундаментальной публикации [8] авторы совершенно справедливо отмечают, что существующие подходы по управлению рисками носят узконаправленный характер, т.е. учитываются либо финансово-экономические аспекты производственных процессов, либо научно-технического и производственно-технологического потенциала предприятий ОПК. В развитие данного вывода вполне обоснованно следует отметить, что специфика КЖЦ дополнительно привносит ряд факторов при оценивании рисков, обусловленных дуализмом целей участников ЖЦ. Поэтому с позиций удовлетворения требований заказчика ВВТ оценивание рисков должно осуществляться с учетом влияния на сроки реализации мероприятий, на технические характеристики и финансовые затраты сторон (табл. 2), результаты которых указывают на необходимость выбора одного из вариантов продолжения проекта.

Подобные ситуации достаточно подробно рассматриваются в исследованиях по системной инженерии и, как правило, сводятся к пересмотру выделения ресурсов на проект, синхронизации выполняемых параллельно работ и оптимизации логистики. В общем случае возможными вариантами могут быть: при высоких и неприемлемых значениях риска – окончание проекта; при умеренных – реализация комплекса мер, направленных на снижение риска; при низких и незначительных – продолжение проекта.

4. Выводы

Подводя итоги настоящего исследования, целесообразно сделать следующие выводы.

1. Внедрение контрактов ЖЦ в практику создания и эксплуатации ВВТ является, во-первых, одной из наиболее распространенных форм государственно-частного партнерства, получивших положительную апробацию

Табл. 1. Матрица рисков

Частота (баллы)	Степень ущерба (баллы)				
	Незначительная (0,05)	Небольшая (0,1)	Средняя (0,2)	Значительная (0,4)	Высокая (0,8)
A. Часто (1)	1a Низкий 0,05	2a Умеренный 0,1	3a Умеренный 0,2	4a Высокий 0,4	5a Неприемлемый 0,8
B. Редко (0,8)	1b Низкий 0,04	2b Низкий 0,08	3b Умеренный 0,16	4b Умеренный 0,32	5b Неприемлемый 0,64
C. Вероятно (0,6)	1c Низкий 0,03	2c Низкий 0,06	3c Умеренный 0,12	4c Умеренный 0,24	5c Высокий 0,48
D. Маловероятно (0,4)	1d Ничтожный 0,02	2d Низкий 0,04	3d Низкий 0,08	4d Умеренный 0,16	5d Высокий 0,32
E. Практически невероятно (0,2)	1e Ничтожный 0,01	2e Ничтожный 0,02	3e Низкий 0,04	4e Низкий 0,08	5e Умеренный 0,16

Табл. 2. Определение степени влияния риска на проект

Степень ущерба	Влияние на сроки реализации мероприятий	Влияние на технические характеристики РК	Влияние на финансовые затраты
Незначительная	минимально, либо отсутствует	минимально, либо отсутствует	минимально, либо отсутствует
Небольшая	минимальные отклонения на промежуточных точках графика. Сдвиг неосновных контрольных точек графика	незначительное снижение значений технических характеристик; воздействие на программу минимально, либо отсутствует	рост бюджета программы или стоимости производства более чем на 1% от выделяемых средств
Средняя	сдвиг промежуточных точек графика, отклонения, не способные повлиять на ход выполнения программы в целом	умеренное снижение технических характеристик, которое оказывает незначительное влияние на ход программы	рост бюджета программы или стоимости производства в диапазоне 1-5% от выделяемых средств
Значительная	критические нарушения сроков выполнения программы. Сдвиг ключевых контрольных точек графика на срок более 2 месяцев, и/или сдвиг промежуточных контрольных точек более чем на 6 месяцев	существенное снижение технических характеристик, ставящие под угрозу реализацию программы	рост бюджета программы или стоимости производства в диапазоне 5-10% от выделяемых средств
Высокая	невозможно соблюдение установленных сроков прохождения контрольных точек	критическое снижение технических характеристик; не могут быть достигнуты ключевые параметры или минимально допустимые значения технических характеристик; создание угрозы срыва реализации программы	превышены лимиты выделяемых средств более чем на 10%

во многих отраслях народного хозяйства, а во-вторых, объективной потребностью военной организации государства, вследствие возрастания технической сложности образцов ВВТ.

2. Создание системы КЖЦ для всей линейки образцов ВВТ в современных экономических условиях является, пожалуй, одним из немногих путей, позволяющих обеспечить готовность ВС РФ к решению задач по предназначению и, исходя из мирового опыта, можно констатировать, что иного пути на сегодняшний день попросту не существует.

3. Формированию долгосрочной системы взаимодействия предприятий ОПК и структур МО РФ на основе КЖЦ должен предшествовать тщательный анализ всех возможных условий их реализации, что позволит идентифицировать большую часть возможных рисков и создать необходимые предпосылки для их минимизации.

Библиографический список

1. Курбанов А.Х. Аутсорсинг: теория, методология, специфика применения в военной организации. СПб: Копи-Р Групп, 2011. 275 с.

2. Гасюк Д.П., Дубовский В.А., Дубовская Н.И. Типологизация факторов, обуславливающих создание системы управления полным жизненным циклом ракетного комплекса сухопутных войск // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXIII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. Российская

академия ракетных и артиллерийских наук, 1-4 апреля 2020 г. СПб, 2020. С. 108-115.

3. Николаев А.С. Совершенствование практической деятельности таможенных органов в системе управления рисками // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Материалы XLVI научной и учебно-методической конференции. 2017. С. 217-219.

4. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2014. №2 (27). С. 4-9.

5. Дубовский В.А., Курбанов А.Х., Плотников В.А. Методическая основа мониторинга функционирования системы контрактов полного жизненного цикла в интересах военной организации государства: организационные, технико-экономические и логистические аспекты // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. № 11-12 (137-138). СПб.: НПО СМ, 2019. С. 15-22.

6. Гасюк Д.П., Дубовский В.А., Гурьянов А.В. Проблема обоснования облика системы управления полным жизненным циклом ракетного комплекса Сухопутных войск // Известия РАРАН. 2020. № 2 (112). С. 29-33.

7. Николаев А.Е. Совершенствование механизма управления развитием научно-технологического потенциала оборонно-промышленного комплекса // «Интернет-журнал Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/231EVN515.pdf> DOI: 10.15862/231EVN515

8. Дроговоз П.А., Радулгин О.В. Информационно-технологические факторы развития кооперации в оборонно-промышленном комплексе и риск-ориентированный подход к ее формированию при создании системы воздушно-космической обороны // Экономические Стратегии. 2016. № 7 (141). С. 76-89.

9. Бабенков В.И., Гасюк Г.Д., Дубовский В.А. Метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. 2020. № 3 (53). С. 59-65.

10. Попович Л.Г., Дроговоз П.А., Калачанов В.Д. Управление инновационно-инвестиционной деятельностью предприятий оборонно-промышленного комплекса в условиях диверсификации: Монография. М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2018. 228 с.

11. Харитонов А.В. Контракт жизненного цикла // Госзаказ: управление, размещение, обеспечение. 2014. № 37. С. 70-77.

12. Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Птушкин А.И. и др. Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов // Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 1 (16). С. 37-109.

13. Киров А.В. Основные аспекты определения облика системы управления полным жизненным циклом изделия // Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 31-34.

14. Терешина Н.П., Подсорин В.А. Управление жизненным циклом технических систем на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов. М.: Вега-Инфо, 2012. 230 с.

15. Гасюк Д.П., Дроговоз П.А., Дубовский В.А. Функциональное моделирование процессов жизненного цикла вооружения и военной техники // Вестник академии военных наук. 2020. № 3 (72). С.105-112.

16. Ракута Н.В. Использование контрактов жизненного цикла при госзакупках. Опыт развитых стран // Вопросы государственного и муниципального управления. 2015. № 2 С. 53-78.

17. Елизаров П.М. Контракты жизненного цикла для народнохозяйственной продукции и вооружения, военной и специальной техники: сходство и отличия // Электронный журнал «Технологии PLM и ИЛП». URL: http://cals.ru/sites/default/files/downloads/emagazine/Emag_5_contracts_ZC_GP_and_BBT.pdf.

18. Круглов М.Г. О системе управления жизненным циклом вооружений, военной и специальной техники в США // Менеджмент качества. 2014. № 3. С.174-191.

19. Григин Н.В. Организация системы закупок вооружения и военной техники для министерств обороны ведущих стран НАТО // Труды Крыловского государственного научного центра, 2 (380). СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2017. С. 148-160.

20. Yang Y., Hou Y., Wang Y. On the Development of Public-Private Partnerships in Transitional Economies: An Explanatory Framework // Public Administration Review. 2013. Vol. 73. Iss. 2. P. 301-310. DOI: 10.1111/j.1540-6210.2012.02672.x

21. Williamson O.E. Public and private bureaucracies: A transaction cost economics perspective // Journal of Law Economics and Organization. 1999. Vol. 15. Iss. 1. P. 306-342.

22. Tang L., Shen Q., Cheng E. A review of studies on Public-Private Partnership projects in the construction industry // International Journal of Project Management. 2010. Vol. 28. P. 683-694.

23. Saussier S., Staropoli C., Yvrande-Billon A. Public-Private Agreements, Institutions, and Competition: When Economic Theory Meets Facts // Review of Industrial Organization. 2009. Vol. 35. P. 1-18. DOI 10.1007/s11151-009-9226-z

Сведения об авторах

Виталий Александрович Дубовский – докторант академии, «Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования „Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва“ Министерства обороны Российской Федерации», Набережная Макарова, 8, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195197, e-mail: dubovskiy@inbox.ru.

Наталья Ивановна Дубовская – младший научный сотрудник, «Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования „Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва“ Министерства обороны Российской Федерации», Научно-исследовательский институт военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации, Набережная Макарова, 8, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195197, e-mail: dubovskaya87@list.ru.

Андрей Сергеевич Николаев – кандидат экономических наук, руководитель комитета по технологиям Ассоциации Центров поддержки технологий и инноваций, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), Факультет технологического менеджмента и инноваций, доцент (ординарный доцент), ул. Чайковского, 11/2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 191187, e-mail: nikand@itmo.ru.

Вклад авторов в статью

Дубовским В. А. составлена основная идея исследования, разработан обобщенный алгоритм управления рисками.

Дубовской Н. И. выполнен анализ литературы по теме исследования, сформулированы выводы по материалам статьи.

Николаевым А. С. принято участие в обсуждении методов исследования и полученных результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



GNEDENKO FORUM

INTERNATIONAL GROUP ON RELIABILITY

The Gnedenko e-Forum has been established by the International Group On Reliability (I.G.O.R.). The Forum is named after outstanding probabilist and statistician Boris Vladimirovich Gnedenko. The I.G.O.R.'s purpose is promoting contacts between members of the World reliability community and exchanging professional news and information (new publications, forthcoming events, etc.).

Gnedenko Forum основан в 2004 году неофициальной международной группой экспертов в области теории надёжности для профессиональной поддержки исследователей всего мира, заинтересованных в изучении и развитии научных, технических и пр. аспектов теории надёжности, анализа рисков и безопасности в теоретической и прикладной областях.

Форум создан в сети Интернет как некоммерческая организация. Его цель – привлечь к совместному обсуждению и общению технических специалистов, заинтересованных в развитии теории надёжности, безопасности и анализа рисков, независимо от места их проживания и принадлежности к тем или иным организациям.

Форум выступает в качестве объективного и нейтрального лица, распространяющего научную информацию для прессы и общественности по вопросам, касающимся безопасности, анализа риска и надёжности сложных технических систем. Он опубликует обзоры, технические документы, технические отчеты и научные эссе для распространения знаний и информации.

Форум назван в честь Бориса Владимировича Гнеденко, выдающегося советского математика, специалиста в области теории вероятностей и её приложений, академика Украинской академии наук. Форум является площадкой для распространения информации о стипендиях, академических и профессиональных позициях, открывающихся в профессиональной области надёжности, безопасности и анализа рисков по всему миру.

В настоящее время в Форуме состоят 500 участников из 47 стран мира.

Начиная с января 2006 года, Форум выпускает свой ежеквартальный журнал *Reliability: Theory & Applications* (www.gnedenko.net/RTA). Журнал зарегистрирован в Библиотеке Конгресса США (ISSN 1932-2321) и публикует статьи, критические обзоры, воспоминания, информацию и библиографии на теоретические и прикладные аспекты надёжности, безопасности, живучести, технического обслуживания и методы анализа и управления рисками.

С 2000 года журнал индексируется в международной базе Scopus.



Членство в GNEDENKO FORUM не подразумевает никаких обязательств. Достаточно прислать по адресу a.bochkov@gmail.com свою фотографию и краткую профессиональную биографию (резюме). Образцы можно найти на <http://www.gnedenko.net/personalities.htm>

ТРЕБОВАНИЯ РЕДАКЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛАХ ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ IDT PUBLISHERS

Требования к формату статьи

Статья представляется в редакцию в электронном формате, в виде файла, созданного в текстовом редакторе MS Word из пакета Microsoft Office (файл с расширением *.doc или *.docx). Текст набирается черным шрифтом на листе формата А4 с полями: левое, верхнее, нижнее – 2 см; правое – 1,5 или 2 см. Минимальный объем статьи – 5 страниц, максимальный (может быть увеличен по согласованию с редакцией) – 12 страниц. При этом статья включает структурные элементы, описание которых представлено ниже.

Структура материала статьи

Представленные ниже структурные элементы статьи отделяются друг от друга *пустой строкой*. Отдельные примеры оформления, как это должно выглядеть в тексте, выделены *синим шрифтом*.

1) Название статьи

Название статьи представляется на русском и английском языках. Название статьи на русском языке должно соответствовать содержанию статьи. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Оформление: Текст названия набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «полужирный». Точка в конце не ставится.

Пример:

Повышение надежности электронных компонентов
The Increasing of dependability of electronic components

2) Фамилия И.О. автора (авторов)

Данный структурный элемент для каждого автора включает:

- на русском языке – его фамилию и инициалы, после которых указывается сноска в виде цифры, набранной верхним индексом (надстрочным), которая ссылается на указание места работы автора. У фамилии автора, который будет контактировать с редакцией, также верхним индексом (после цифры) указывается символ «*»;

- на английском языке – его фамилию, имя и отчество в формате «Имя, инициал отчества, фамилия» (Ivan I. Ivanov). Фамилию на английском языке необходимо указывать в соответствии с заграничным паспортом или так, как она была указана в ранее опубликованных статьях. Если автор не имеет заграничного

паспорта и/или публикаций, для транслитерации фамилии и имени необходимо использовать стандарт BSI.

Оформление: Текст ФИО набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «полужирный». ФИО разделяются запятой, точка в конце не ставится.

Пример:

Иванова А.А.¹, Петров В.В.^{2*}

Anna A. Ivanova, Victor V. Petrov

3) Место работы автора (авторов)

Место работы авторов приводится на русском языке, перед указанием места набирается верхним индексом (надстрочным) соответствующая цифра сноски, указывающая на имя автора.

Оформление: Текст места работы набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный». Каждое место работы – с новой строки, точки в конце не ставятся.

Пример:

¹Московский государственный университет, Российская Федерация, Москва

²Санкт-Петербургский институт теплоэнергетики, Российская Федерация, Санкт-Петербург

4) Адрес электронной почты автора, который будет вести переписку с редакцией

Оформление: Текст адреса набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный», все символы – строчные. Перед адресом набирается символ сноски «*». Точка в конце не ставится.

Пример:

*petrov_vv@aaa.ru

5) Резюме статьи

Данный структурный элемент включает структурированную аннотацию статьи объемом не менее 350 слов и не более 400 слов. Резюме представляется на русском и английском языках. Резюме должно содержать (желательно в явной форме) следующие разделы: Цель; Методы; Результаты; Выводы (на англ. яз.: Objective, Methods, Results, Conclusion). В резюме статьи не следует включать впервые введенные термины, аббревиатуры (за исключением общеизвестных), ссылки на литературу.

Оформление: Текст резюме набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный», кроме слов «**Резюме.**», «**Цель.**», «**Методы.**», «**Выводы.**» («**Objective.**», «**Methods.**», «**Results.**», «**Conclusion.**»), которые (вместе с точкой) должны иметь начертание шрифта «полужирный». Текст резюме на отдельные абзацы не разделяется (набирается в один абзац).

Пример (на рус. яз.):

Резюме. Цель. Предложить подход ... с учетом современных методик. **Методы.** В статье применяются методы математического анализа, ..., теории вероятностей. **Результаты.** С использованием предложенного метода получено... **Заключение.** Предлагаемый в статье подход позволяет...

6) Ключевые слова

Указывается 5-7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли резюме (аннотацию) и название статьи. Ключевые слова указываются на русском и английском языках.

Оформление: Текст набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный», кроме слов «**Ключевые слова:**» («**Keywords:**») которые (вместе с двоеточием) должны иметь начертание «полужирный». Текст на отдельные абзацы не разделяется (набирается в один абзац). В конце ставится точка.

Пример (на рус. яз.):

Ключевые слова: надежность, функциональная безопасность, технические системы, управление рисками, производственная эффективность.

7) Текст статьи

Рекомендуется структурировать текст статьи в виде следующих разделов: Введение, Обзор источников, Методы, Результаты, Обсуждение, Заключение (или выводы). Рисунки и таблицы включаются в текст статьи (положение рисунков должно быть «в тексте», а не «за текстом» или «перед текстом»; без «обтекания текстом»).

Оформление:

Заголовки разделов набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, с абзацным отступом слева 1,25 см. Начертание шрифта «полужирный». Заголовки разделов (кроме введения и заключения (выводов)) могут иметь нумерацию арабскими цифрами с точкой после номера раздела. Номер с точкой отделяются от заголовка неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar).

Текст разделов набирается шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, с абзацным отступом слева 1,25 см. Начертание шрифта «обычный» Текст разде-

лов разделяется на отдельные абзацы. Абзацный отступ не применяется для абзаца, следующего за формулой и содержащего пояснения к формуле, например: где n – количество изделий.

Пример:

1. Состояние вопроса повышения надежности электронных компонентов

Проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы по теме исследования показал, что...

Рисунки (фотографии, скриншоты) должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Разрешение рисунка – не хуже 300 dpi. Если рисунок представляет собой схему, диаграмму, чертеж и т.п., то желательно вставлять такой рисунок в текст в редактируемом формате (MS Visio). Все рисунки должны иметь подрисовочные подписи. Рисунки нумеруются арабскими цифрами, по порядку следования в тексте. Если рисунок в тексте один, то он не нумеруется. Отсылки на рисунки оформляются следующим образом: «На рис. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. рис. 3)». Сокращение «рис.» и номер рисунка (если он есть) всегда разделяются неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar). Подрисовочная подпись включает порядковый номер рисунка и его название. Располагается на следующей строке после рисунка и выравнивается по центру:

Рис. 2. Описание жизненно важных процессов

Точка после подрисовочной подписи не ставится. При выравнивании по центру абзацный отступ всегда должен отсутствовать! Все обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисовочном тексте. Недопустимы отличия в обозначениях на рисунках и в тексте (включая различие прямых/наклонных символов). При проблемах с версткой рисунков, вставленных в текст, авторы должны по запросу редакции предоставить данные рисунки в графическом формате, в виде файлов с расширениями *.tiff, *.png, *.gif, *.jpg, *.eps.

Таблицы должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Таблицы должны быть пригодны для редактирования (а не отсканированные или в виде рисунков). Все таблицы должны иметь заголовки. Таблицы нумеруются арабскими цифрами, по порядку следования в тексте. Если таблица в тексте одна, то она не нумеруется. Отсылки на таблицы оформляются следующим образом: «В табл. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. табл. 3)». Сокращение «табл.» и номер таблицы (если он есть) всегда разделяются неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar). Заголовок таблицы включает порядковый номер таблицы и ее название. Располагается на строке, предшествующей таблице и выравнивается по центру:

Табл. 2. Описание жизненно важных процессов

Точка после заголовка таблицы не ставится. При выравнивании по центру абзацный отступ всегда должен отсутствовать! Все обозначения (символы), приведен-

ные в таблицах, необходимо пояснять в основном тексте. Недопустимы отличия в обозначениях в таблице и в тексте (включая различие прямых/наклонных символов).

Математические обозначения в тексте набираются заглавными и строчными буквами латинского, греческого и русского алфавитов. Латинские символы всегда набираются наклонным шрифтом (курсивом), кроме обозначений функций, таких как \sin , \cos , \max , \min и т.п., которые набираются прямым шрифтом. Греческие и русские символы всегда набираются прямым шрифтом. Размер шрифта основного текста и математических обозначений (включая формулы) должен быть одинаков; верхние и нижние индексы масштабируются в MS Word автоматически.

Формулы могут быть включены непосредственно в текст, например:

Пусть $y = a \cdot x + b$, тогда...

либо набираться в отдельной строке, с выравниванием по центру, например:

$$y = a \cdot x + b.$$

При наборе формул как в тексте, так и в отдельной строке, знаки препинания должны ставиться по обычным правилам – точка, если формулой заканчивается предложение; запятая (или отсутствие знака препинания), если предложение после формулы продолжается. Для разделения формулы и текста рекомендуется для строки с формулой устанавливать вертикальные отступы (6 пт перед, 6 пт после). Если в тексте статьи делается отсылка на формулу, то такая формула обязательно набирается отдельной строкой, по правому краю которой указывается номер формулы в круглых скобках, например:

$$y = a \cdot x + b. \quad (1)$$

Если формула набирается в отдельной строке и имеет номер, то данная строка выравнивается по правому краю, а формула и номер разделяются знаком табуляции; позиция табуляции (в см) выбирается таким образом, чтобы формула располагалась примерно по центру. Формулы, на которые в тексте делаются отсылки, нумеруются арабскими цифрами, по порядку следования в тексте.

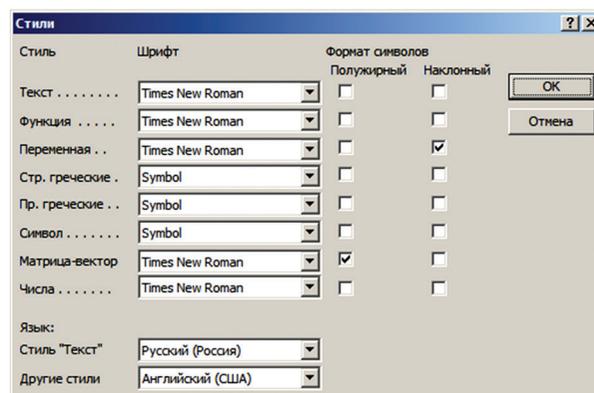
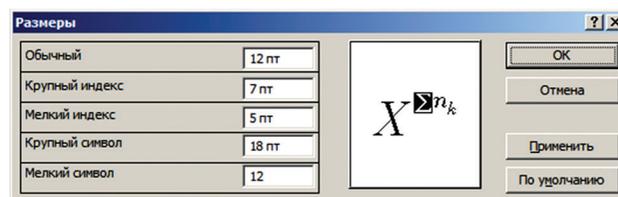
Простые формулы следует набирать без применения формульного редактора (использовать в MS Word русские и латинские буквы, а также меню «Вставка» + «Символ», если требуются греческие буквы и математические операторы), с соблюдением требуемого наклона для латинских символов, например:

$$\Omega = a + b \cdot \theta.$$

Если формула набирается без применения редактора формул, то между буквами и знаками «+», «-», «=» должны быть набраны неразрывные пробелы (Ctrl+Shift+Spacebar).

Сложные формулы набираются с применением редактора формул. Для отсутствия проблем с редак-

рованием формул и их версткой настоятельно рекомендуется использовать редакторы Microsoft Equation 3.0 или MathType 6.x. Для обеспечения корректного ввода формул (размер символов, их наклон и т.д.) рекомендуемые настройки редактора приведены на рисунках ниже.



При наборе формул в редакторе формул, если требуются скобки, то следует использовать скобки из формульного редактора, а не набирать их на клавиатуре (для корректной высоты скобок в зависимости от содержимого формулы), например (Equation 3.0):

$$Z = \frac{a \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{j=1}^m y_j \right)}{n + m}. \quad (2)$$

Сноски в тексте нумеруются арабскими цифрами, размещаются постранично. В сносках могут быть размещены: ссылки на анонимные источники в сети Интернет, ссылки на учебники, учебные пособия, ГОСТы, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и журналах, авторефераты, диссертации (если нет возможности процитировать статьи, опубликованные по результатам диссертационного исследования), комментарии автора.

Отсылка на библиографический источник указывается в тексте статьи в квадратных скобках, а источники приводятся в библиографическом списке в порядке их упоминания в тексте (затекстовые ссылки). Страница указывается внутри скобок, через запятую и пробел после номера источника: [6, с. 8]

8) Благодарности

В этом разделе указываются все источники финансирования исследования, а также благодарности людям, которые участвовали в работе над статьей, но не

являются ее авторами. Участие в работе над статьей подразумевает: рекомендации по совершенствованию исследования, предоставление пространства для исследования, ведомственный контроль, получение финансовой поддержки, одиночные виды анализа, предоставление реагентов/пациентов/животных/прочих материалов для исследования.

Оформление:

Сведения набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

9) Библиографический список

В библиографический список включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов и монографии), упоминающиеся в тексте статьи. Нежелательно включать в библиографический список авторефераты, диссертации, учебники, учебные пособия, ГОСТы, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах, на сайтах и в блогах. Если необходимо сослаться на такую информацию, следует поместить информацию об источнике в сноску.

При описании источника следует указывать его DOI, если удастся его найти (для зарубежных источников удастся это сделать в 95% случаев).

Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

В ссылках на статьи из журналов должны быть обязательно указаны год выхода публикации, том и номер журнала, номера страниц.

В описании каждого источника должны быть представлены все авторы.

Ссылки должны быть верифицированы, выходные данные проверены на официальном сайте журналов и/или издательств.

Оформление:

Оформление ссылок (в русскоязычной версии журнала) должно выполняться по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

Библиографические ссылки набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, с абзацным отступом слева 1,25 см. Начертание шрифта «обычный» (см. примеры оформления в ГОСТ Р 7.0.5). Каждая

запись имеет нумерацию арабскими цифрами с точкой после номера раздела. Номер с точкой отделяются от записи неразрывным пробелом (Ctrl+Shift+Spacebar).

10) Сведения об авторах

Фамилия, имя, отчество полностью (на русском и английском языках); полный почтовый адрес (включая индекс, город и страну); полное наименование места работы, занимаемая должность; ученая степень, ученое звание, почетные звания; членство в общественных союзах, организациях, ассоциациях и т.д.; официальное англоязычное название учреждения (для версии на английском языке); адрес электронной почты; перечень и номера журналов, в которых ранее публиковались статьи автора; фото авторов для публикации в журнале.

Оформление:

Сведения набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

11) Вклад авторов в статью

Следует указать подробно, каким из авторов что сделано в статье. Например: Автором А. выполнен анализ литературы по теме исследования, автором Б. разработана модель объекта в реальных условиях эксплуатации, выполнен расчет примера и т.д. Даже если у статьи один автор, то требуется указание его вклада.

Оформление:

Сведения набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

12) Конфликт интересов

Конфликт интересов – это условия, при которых у людей возникают вступающие в конфликт или конкурирующие интересы, способные повлиять на принятие редакторского решения. Конфликты интересов могут быть потенциальными или осознанными, а также реально существующими. На объективность могут повлиять личные, политические, финансовые, научные или религиозные факторы.

Автор обязан уведомить редакцию о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в статью.

Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом. Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

Оформление:

Текст набираются шрифтом Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал 1,5 строки, выравнивание по ширине, без абзацного отступа слева. Начертание шрифта «обычный».

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ УЧАСТИИ И ПОДДЕРЖКЕ

АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-
КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИЗАЦИИ, АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЯЗИ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»
(АО «НИИАС»)



АО «НИИАС» – ведущее предприятие ОАО «РЖД» в области создания комплексов и систем обеспечения безопасности движения, управления движением, геоинформационного обеспечения, мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры железных дорог



Цели:

- эффективность,
- безопасность
- надежность перевозок



Основные направления деятельности

- Интеллектуальные системы управления
- Технологии управления перевозками и транспортного обслуживания
- Системы автоматики и телемеханики
- Центры автоматизированного управления
- Информационные системы
- Геоинформационные системы и спутниковые технологии
- Системы транспортной безопасности
- Системы управления инфраструктурой
- Системы управления топливно-энергетическими ресурсами
- Испытания, сертификация и экспертиза
- Информационная безопасность
- Нормативно-правовое обеспечение

