

zaryadnogo davleniya v tormoznoi magistrali [Device for increasing the sensitivity of the driver's brake valve while maintaining the charging pressure in the brake mainline]. Pat. 177820 RF, МПК V 60 T 15/04, V 60 T 15/36. Applicant and patent holder is Irkutsk State Transport Un-ty. No. 2017119694; applied Jun 05, 2017; publ. Mar 13, 2018, Bull. No. 8, 2 p.

17. P.Yu. Ivanov, N.I. Manuilov, E.Yu. Dul'skii Ivanov P.Yu. Prichiny samoproizvol'nogo srabatyvaniya avtotormozov v gruzovykh poezdakh [Reasons for spontaneous actuation of auto brakes in freight trains]. *Izvestiya Transsiba* [Journal of Transsib Railway Studies]. Omsk State Transport Un-ty, Omsk, 2017, No. 2 (30), pp. 17–25.

18. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu., Khudonogov A.M. Issledovanie prichin samoproizvol'nogo srabatyvaniya avtotormozov gruzovykh poezdov [The study of the causes of spontaneous actuation of the brakes of freight trains]. *Materialy vos'moi mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Materials of the eighth int. scientific-practical conf. "Transport infrastructure of the Siberian region"]. Irkutsk State Transport University, Irkutsk, 2017, pp. 399–404.

19. Manuilov N.I. Analiz izmeneniya davleniya v glavnykh rezervuarakh lokomotiva na osnove rezul'tatov poezdnykh ispytaniy [Analysis of pressure changes in the main reservoirs of a locomotive based on the results of train tests]. *Izvestiya Transsiba* [Journal of Transsib Railway Studies], 2019, No. 1 (37), pp. 27–34.

20. Manuilov N.I. Sovershenstvovanie metodov i sredstv diagnostiki tormoznoi seti poezda [Improving the methods and tools for diagnosing the brake network of a train]. *Razrabotka i ekspluatatsiya elektrotekhnicheskikh kompleksov i sistem energetiki i nazemnogo transporta: mater. tret'ei mezhdunar. nauch.-praktich. konf.* [Development and operation of electrical complexes and energy systems and ground transportation: Mater. of the third international scientific and practical conf.], 2018, pp. 157–163.

Информация об авторах

Иванов Павел Юрьевич – к. т. н., доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: savl.ivanov@mail.ru

Михальчук Николай Львович – к. т. н., заместитель начальника Дирекции тяги (по развитию) – филиала ОАО «Российские железные дороги», г. Москва, e-mail: mihalchuknl@center.rzd.ru

Макарова Елена Игоревна – д. т. н., профессор кафедры электрической тяги, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: igor.rollet@inbox.ru

Ролле Игорь Александрович – к. т. н., доцент кафедры электрической тяги, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: igor.rollet@inbox.ru

Information about the authors

Pavel Y. Ivanov – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: savl.ivanov@mail.ru

Nikolai L. Mikhail'chuk – Ph.D in Engineering Science, Vice-President of OAO Russian Railways, Moscow, e-mail: mihalchuknl@center.rzd.ru

Elena I. Makarova – Doctor of Engineering Science, Professor of the Subdepartment of Electrical Traction, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: igor.rollet@inbox.ru

Igor' A. Rolle – Ph.D., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: igor.rollet@inbox.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).66-75

УДК 656.2

Методы оценки рисков и прогнозирование сценариев развития чрезвычайных ситуаций при железнодорожных перевозках

С. С. Анардович, Е. А. Руш ✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ lrush@mail.ru

Резюме

Необходимость разработки новых методов анализа риска в чрезвычайных ситуациях обусловлена большим количеством аварийных ситуаций и тяжестью их последствий, особенно при железнодорожных перевозках опасных грузов. В статье исследованы современные методы анализа риска чрезвычайных ситуаций, приведены результаты их сравнительной оценки. Рассмотрены традиционный и новый подходы к обеспечению безопасности железнодорожных перевозок. Установлена эффективность применения ГИС-технологий для анализа риска чрезвычайных ситуаций и прогнозирования их последствий. Изучена возможность использования для решения конкретных задач ряда методик оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативов приемлемого риска чрезвычайных ситуаций. Представлены основные подходы к доказательству безопасности железнодорожного транспорта и оценки экологических рисков. Отмечено, что обеспечение эффективности и безопасности мультимодальных перевозок требует комплексного подхода в области оценки рисков с учетом особенностей транспорта, географии перевозок, административно-правовых ограничений. Предлагается использовать параметрический подход с применением ранговых оценок, что объясняется его эффективностью и доступностью. Исследована степень износа основных фондов железнодорожной инфраструктуры как одного из наиболее важных факторов, влияющих на уровень безопасности. Проведено ранжирование данного показателя и установлена отрицательная динамика за весь период наблюдения. Методом интервального прогнозирования проведен анализ динамики износа основных фондов

и составлен прогноз, с высокой долей вероятности показывающий тенденцию к дальнейшему его увеличению. Сделан вывод о необходимости проведения мероприятий по снижению исследуемого фактора.

Ключевые слова

чрезвычайная ситуация, риск, анализ риска, прогнозирование, безопасность, железнодорожный транспорт, мониторинг

Для цитирования

Анардович С. С. Методы оценки рисков и прогнозирование сценариев развития чрезвычайных ситуаций при железнодорожных перевозках / С. С. Анардович, Е. А. Руш // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 66–75. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).66-75

Информация о статье

поступила в редакцию: 14.09.2019, поступила после рецензирования: 21.11.2019, принята к публикации: 14.01.2020

Risk assessment methods and forecasting emergency development scenarios for railway transportation

S. S. Anardovich, E. A. Rush ✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ lrush@mail.ru

Abstract

The need to develop new methods of risk analysis in emergency situations is due to the large number of accidents and the severity of their implications, especially during the transport of dangerous cargo by rail. The article explores modern methods of risk analysis of emergency situations and presents the results of their comparative evaluation. Traditional and new approaches to ensuring the safety of rail transportation are considered. The effectiveness of the use of GIS technologies to analyze the risk of emergency situations and predict their consequences is established. The applicability of a number of methods for assessing the risks of emergency situations and the standards of acceptable risk of emergency situations for solving specific problems is considered. The paper presents main approaches to proving the safety of transport and assessing environmental risks. It was noted that ensuring the efficiency and safety of multimodal transportation requires an integrated approach in the field of risk assessment, taking into account the characteristics of transport, the geography of transportation, and administrative and legal restrictions. A parametric approach using rank estimates is presented as the most effective and affordable. It is proposed to use a parametric approach using rank estimates, as the most effective and affordable. The degree of depreciation of fixed assets of the railway infrastructure was studied as one of the most important factors affecting the level of safety. The ranking of this indicator was carried out and negative dynamics was established in the entire observation period. The method of interval forecasting was used to analyze the dynamics and make a forecast, with a high degree of probability showing a trend towards a further increase in the degree of depreciation of fixed assets. It is concluded that it is necessary to take measures to reduce the studied factor.

Keywords

emergency, risk, risk analysis, prediction, safety, rail transport, monitoring

For citation

Anardovich S. S., Rush E. A. Metody otsenki riskov i prognozirovaniye stsenariyev razvitiya chrezvychaynykh situatsiy pri zheleznodorozhnykh perevozkakh [Risk assessment methods and forecasting emergency development scenarios for railway transportation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 66–75. 10.26731/1813-9108.2020.1(65).66-75

Article Info

Received: 14.09.2019, Revised: 21.11.2019, Accepted: 14.01.2020

Введение

Железнодорожный транспорт занимает одно из ведущих мест в транспортной системе России, что обусловлено географическими особенностями страны и ее природно-климатическими условиями. Следует отметить, что железнодорожный транспорт является сложной технической системой, в процессе его эксплуатации всегда существует риск возникновения аварийных ситуаций, способных привести к катастрофическим последствиям, например, при перевозке всех видов опасных грузов.

Аварии и катастрофы при данных видах перевозок несут особую угрозу и могут стать причиной масштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС), способных привести к человеческим жертвам, нанесению непоправимого ущерба здоровью людей, загрязнению окружающей среды, значительным материальным потерям, нарушению условий жизнедеятельности, а также производственной деятельности предприятий. Так, например, объемы перевозок нефти и нефтепродуктов занимают одну из лидирующих позиций в общем объеме перевозок железнодорожного транспор-

та России. В 2018 г. их доля составила 18,32 % к общему объему погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте (второе место после каменного угля – 29,02 %) [1].

Далее представлены статистические данные по количеству ЧС и их последствиям на железнодорожном транспорте за 2006–2017 гг. (табл. 1)[2]. Анализ статистических сведений позволяет сделать вывод о том, что устойчивой тенденции к уменьшению ЧС к настоящему времени не наблюдается.

Результаты анализа риска ЧС имеют огромное значение для принятия обоснованных и рациональных решений, в особенности при перевозке опасных грузов.

Следовательно, снижение рисков и повышение безопасности железнодорожных перевозок является актуальной проблемой, требующей устранения имеющихся недостатков в области методологии оценки рисков, а также разработки и практической апробации новых методов анализа рисков при возникновении ЧС.

Современное состояние и перспективы развития существующих методов анализа риска

Риски связаны с неоднозначностью происходящих процессов есть везде, где имеется неопределенность будущего. В связи с тем, что существует много неопределенностей, связанных с оценкой риска, их анализ также является неотъемлемой частью оценки риска. Информация по надежности технического объекта и человеческий фактор наряду с допущениями применяемых моделей аварийных ситуаций и ЧС являются главными источниками неопределенностей. Также неопределенности обусловлены малой вероятностью реализации ЧС, которая, тем не менее, влечет за собой большие ошибки при количественной оценке риска [3].

Одним из важнейших этапов управления риском

является его анализ. Необходимо отметить, что для опасных производственных объектов анализ риска проводится по двум основным направлениям:

- идентификация риска для организации и проведения предупредительных мероприятий;
- прогнозирование последствий реализовавшихся рисков для организации и планирования защитных мероприятий.

В исследованиях [4] проведен многофакторный анализ 24 основных методов анализа риска, входящих в состав 5 основных групп методов оценки риска (табл. 2).

Таблица 2. Основные методы анализа риска
Table 2. Key risk analysis methods

Группы методов	Методы анализа рисков
Методы наблюдения	Контрольные листы
	Предварительный анализ опасностей
Вспомогательные методы	Структурированное интервью и мозговой штурм
	Метод Дельфи
	Структурированный анализ методом «что, если?» (SWIFT)
Анализ сценариев	Анализ влияния человеческого фактора (HRA)
	Анализ первопричины (RCA)
	Анализ сценариев
	Оценка токсикологического риска
	Анализ воздействия на бизнес (BIA)
	Анализ дерева неисправностей (FTA)
	Анализ дерева событий (ETA)
	Анализ причин и последствий
Причинно-следственный анализ	

Таблица 1. Статистические сведения о чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте за 2006–2017 гг.

Table 1. Emergency statistics in railway transport in 2006–2017

Год	Количество чрезвычайных ситуаций	Погибло человек	Пострадало человек	Материальный ущерб, млн. руб.
2006	15	5	2	Нет данных
2007	20	4	2	Нет данных
2008	11	2	33	Нет данных
2009	23	30	151	Нет данных
2010	16	2	3	Нет данных
2011	11	6	3	Нет данных
2012	14	1	4	Нет данных
2013	17	2	153	Нет данных
2014	21	32	244	329,579
2015	6	0	11	74,729
2016	7	0	1	99,435
2017	11	3	36	201,956

Продолжение таблицы 2
Continuation of table 2

Функциональный анализ	- анализ видов и последствий отказов (FMEA);
	- анализ критичности видов и последствий отказов (FMSEA);
	- техническое обслуживание, направленное на обеспечение надежности;
	- анализ скрытых дефектов;
	- исследование опасности и работоспособности (HAZOP);
	- анализ опасности и критических контрольных точек (НАССР);
	- анализ уровней защиты (LOPA);
	- анализ «галстук-бабочка»
Статистические методы	- марковский анализ;
	- моделирование методом «Монте-Карло»;
	- байесовский анализ и сети Байеса

Сравнительная оценка рассматриваемых методов проводилась по двум аспектам – основным характеристикам этих методов и их применимостью на каждом этапе оценки риска. В результате эффективными методами анализа риска были выбраны FMEA, FMSEA, HRA, ETA, LOPA, SWIFT и техническое обслуживание, направленное на обеспечение надежности.

Выбор метода оценки риска зависит от целей и задач оценки опасностей. Существующие методы имеют различия в точности прогноза и объеме необходимой исходной информации. Однако, независимо от выбранного метода и особенностей поставленных задач, при оценке риска существует несколько общих положений:

– определение допустимого риска для населения, персонала и окружающей среды;

– недостаточность информации в условиях определения допустимого риска;

– решение вероятностных задач в ходе анализа довольно часто приводит к расхождениям в получаемых результатах;

– многокритериальность задач, решаемых в ходе анализа риска, связанная с заинтересованностью сторон в определенных результатах [5].

Неотъемлемой частью анализа техногенных опасностей для объектов железнодорожного транспорта являются расчеты конструкций и элементов на прочность, жесткость, устойчивость, долговечность, износостойкость, живучесть и хладостойкость [6]. Это обусловлено высокими скоростями движения подвижного состава и увеличением эксплуатационных нагрузок. Данные расчеты составляют основу традиционного подхода к определению и обеспечению работоспособности объектов транспортной инфраструктуры, суть которого заключается в последовательном определении таких параметров, как запасы, безопасность, риски, защищенность на основании решения традиционных проблем живучести, надежности, ресурса, жесткости, устойчивости, прочности.

Следует отметить, что в условиях современной политики национальной безопасности страны основополагающим фактором, определяющим степень защищенности объекта техносферы от аварий и катастроф, является риск возникновения ЧС. В связи с этим предложен новый подход [6], отвечающий требованиям Стратегии национальной безопасности России [7].

Сущность подхода заключается в изначальном формировании уровня защищенности объекта, определяющем соответствующие уровни безопасности и рисков, по которым устанавливаются необходимые новые базовые параметры в сравнении с традиционными (рис. 1).

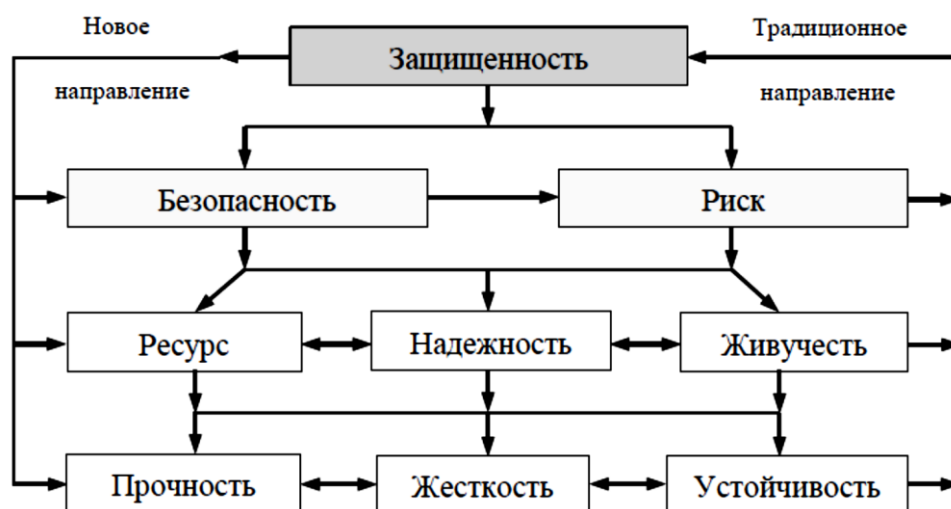


Рис. 1. Традиционный и новый подход к определению и обеспечению защищенности
Fig. 1. Traditional and new approaches to defining and ensuring security

Снижение уровня безопасности железнодорожного транспорта в значительной степени обусловлено отказами технических средств на стадиях эксплуатации и технического обслуживания, что требует прогнозирования негативных последствий.

Сделан вывод об эффективности применения подхода Байеса к анализу риска на стадии эксплуатации и технического обслуживания подвижного состава [8]. Автор объясняет это возможностью использования данного метода при выявлении динамики «последствий, к которым может привести отказавший элемент подвижного состава с учетом взаимодействия рискообразующих факторов» [8]. Однако с этим утверждением можно не согласиться, так как Байесов подход имеет ряд недостатков применительно к анализу рисков сложных систем:

- подход не применим на этапе идентификации риска и при определении вероятностных характеристик и уровня риска;

- обладает высокой сложностью;

- для сложных систем не всегда существует возможность определения взаимодействия в байесовых сетях;

- необходимость знания множества условных вероятностей, обычно получаемых экспертными методами [9].

В современной практике для оценки риска ЧС все более широкое распространение получают методы моделирования с применением геоинформационных систем (ГИС) [10, 11]. Например, при прогнозировании ЧС, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов при железнодорожных перевозках, современные ГИС-технологии позволяют строить корректные модели, учитывающие особенности рельефа, гидрологические особенности местности, метеосостояния с привязкой их к объектам производства (в том числе, и к потенциально опасным объектам) и социальной сферы, к зданиям и сооружениям.

Достоинством применения ГИС-технологий при оценке экологических рисков в ЧС является возможность объединить разнородные данные, основанные на результатах контрольных измерений концентраций загрязняющих веществ и экспертных оценках, учитывая их достоверность и степень участия. Комплексная оценка экологических рисков в ГИС позволяет не только оценить уровень риска, но и определить наиболее чувствительные к загрязнителю экосистемы, а также спланировать мероприятия для ликвидации ЧС и ее последствий [12].

Подход к определению экологического риска, который учитывает не только вероятность проявления факторов экологической опасности, но и все возможные последствия, получает все большее распространение. Для проведения количественной оценки экологических рисков необходимо знать все факторы экологической опасности, а также методы оценки ущерба от их проявления [13].

Информационной основой для оценки экологических рисков являются: информация о различных процессах и явлениях; результаты мониторинга экологической обстановки в конкретном регионе; данные оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологической экспертизы, государственного учета и регистрации [14].

В некоторых исследованиях риск-ориентированный подход, основанный на непревышении допустимого уровня риска, рассматривается в качестве одного из подходов, применяемых к доказательству безопасности движения железнодорожного транспорта [15]. Кроме данного подхода авторами рассмотрены также компонентный подход, заключающийся в документальном подтверждении безопасности; параметрический подход, основанный на определении и поддержании показателей безопасности на требуемом уровне; вероятностный подход, где вероятность того, что значение показателя выйдет за нормативные пределы, не должна превышать допустимого значения вероятности по всем показателям.

Применение оценок рисков чрезвычайных ситуаций

Оценка рисков ЧС техногенного характера применяется при разработке проектной документации, проведении государственной экспертизы и страховании рисков ЧС. Служит основанием для принятия решений по формированию программы мероприятий, направленных на снижение уровня риска опасного объекта (в случае превышения расчетных значений нормативов приемлемых уровней) [16].

В настоящее время обеспечение безопасности населения и территорий от ЧС является одной из главных задач, стоящих перед Россией. Среди техногенных ЧС транспортные аварии (катастрофы), пожары и взрывы занимают особое место с точки зрения социальных, экономических и экологических последствий. Как показывает анализ организации мультимодальных грузоперевозок, вопросы оценки и управления рисками рассматриваются в основном на качественном уровне, исходя из опыта и интуиции перевозчиков.

Особенность мультимодальных грузоперевозок заключается в том, что грузы перемещаются во времени и пространстве посредством различных видов транспорта. Обеспечение эффективности и безопасности таких перевозок требует комплексного подхода как в части технико-технологической безопасности в соответствии с требованиями национальных и международных нормативных актов, так и в области оценки рисков с учетом особенностей транспорта, географии перевозок, административно-правовых ограничений.

В основном вопросы оценки рисков мультимодальных грузоперевозок основываются на определении

средневзвешенных оценок каждого вида аварии и локальных критериях, что не позволяет оценить уровень риска мультимодальной перевозки с учетом влияния многих внешних и внутренних факторов.

Таким образом, актуальной является задача разработки методов оценки и управления рисками с целью повышения безопасности и мультимодальных перевозок [17].

Результаты и обсуждение

После проведения сравнительной оценки возможности использования того или иного метода анализа риска, предлагается в качестве аналитического метода применять параметрический метод, способный оценить безопасность по 4 направлениям: безопасность движения, технические средства и технологические процессы, персонал, управление. Метод основан на балльной системе расчета риска по каждому показателю и их суммированию для получения итогового показателя.

При определении наиболее уязвимых мест в обеспечении показателей происходит их ранжирование, поэтому параметрический метод также является ранговым.

Кроме того, данный метод можно использовать при исследовании динамики показателей, влияющих на безопасность движения с учетом того, что рассматриваемый интервал наблюдения будет достаточно длительным. Суть метода заключается в разбиении показателя на несколько одинаковых частей и сравнении ранга последнего значения с предыдущими периодами.

Например, в качестве показателя рассмотрим сте-

пень износа основных средств железнодорожной инфраструктуры как фактора, оказывающего непосредственное влияние на состояние безопасности железных дорог. Статистика показывает, что с 2004 г. до настоящего времени наблюдается устойчивая тенденция к старению основных фондов железнодорожного транспорта.

В представленном примере отрицательная динамика наблюдается на протяжении практически всего периода наблюдения, исключая 2012–2013 гг., где заметно незначительное снижение степени износа основных фондов, но, несмотря на это, показатель имеет наихудший (четвертый) ранг (рис. 2). Таким образом, можно сделать вывод о необходимости проведения прогноза по исследуемому фактору.

Для анализа динамики показателя и составления прогноза был использован метод интервального прогнозирования на основе трендов [18, 19], который состоит из нескольких этапов.

1. Сбор и проверка исходных данных. Исходными для построения тренда являются данные о степени износа основных фондов с 2004 по 2017 г., представленные Федеральной службой государственной статистики России [1].

2. Выбор формы кривой, характеризующей тренд. На основе визуального анализа графиков рядов данных выбрана линейная функция $y(t) = a + bt$, так как наблюдается тенденция ряда к равномерному росту.

3. Построение математической модели. После установления наиболее вероятного вида функции строится математическая модель, которая сводится к определению коэффициента функции при помощи метода

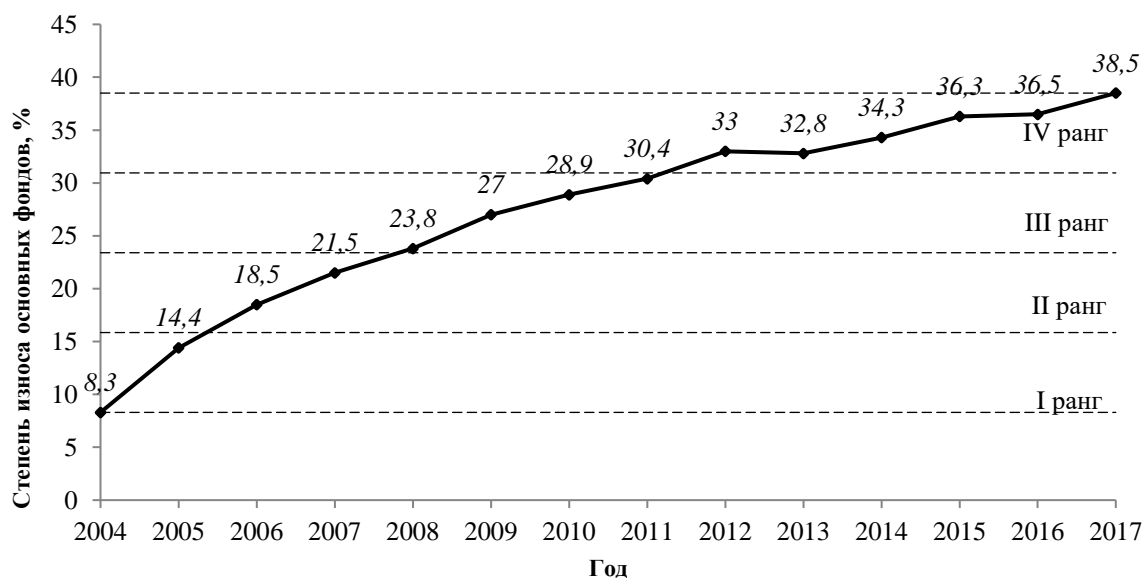


Рис. 2. Изменение показателя «степень износа основных фондов» в шкале рангов
Fig. 2. Change in the indicator "degree of depreciation of fixed assets" in the rank scale

наименьших квадратов. Результат построения математической модели представлен (рис. 3), (табл. 3).

Таблица 3. Результаты построения математической модели
Table 3. The results of building a mathematical model

Год	Износ основных фондов, %	Расчет, y_i
2004	8,3	13,87
2005	14,4	15,96
2006	18,5	18,04
2007	21,5	20,14
2008	23,8	22,22
2009	27	24,31
2010	28,9	26,4
2011	30,4	28,49
2012	33	30,58
2013	32,8	32,66
2014	34,3	34,75
2015	36,3	36,84
2016	36,5	38,93
2017	38,5	40,01
2018	–	43,1
2019	–	45,19
2020	–	47,28

Для реализации метода интервального прогнозирования расчет был выполнен в программе «Microsoft Excel».

4. Анализ и верификация прогноза.

Средняя ошибка прогноза линейного тренда определяется по формуле:

$$m = \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{t_k^2}{\sum t_i^2}} = \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{17t_k^2}{n^3 - n}}, \quad (1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение ошибок аппроксимации:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_{Pi})^2}{n - p}}, \quad (2)$$

где n – количество интервалов наблюдения; p – число параметров (коэффициентов тренда); y_i – исходные данные; y_{Pi} – расчет по уравнению тренда; t_i – номер интервала, считая от середины интервала наблюдения; t_k – номер интервала прогноза, считая от середины интервала наблюдения.

Ошибка прогноза Δy должна учитывать и ошибку аппроксимации:

$$\Delta y = \sqrt{\delta^2 + (t \cdot m)^2}, \quad (3)$$

где t – критерий Стьюдента, $t = 1,78$ при выбранной вероятности $\alpha = 0,9$. Результаты ошибок прогноза представлены далее (табл. 4).

Таблица 4. Результаты расчета ошибок прогноза (износ основных средств)

Table 4. The results of the calculation of forecast errors (depreciation of fixed assets)

Параметр	Значение		
Среднее квадратическое отклонение, σ	2,479517		
Порядковый номер года / год	15/2018	16/2019	17/2020
Средняя ошибка прогноза, m	1,6998	1,8815	2,0658
Ошибка аппроксимации, Δy	3,9149	4,1706	4,4389

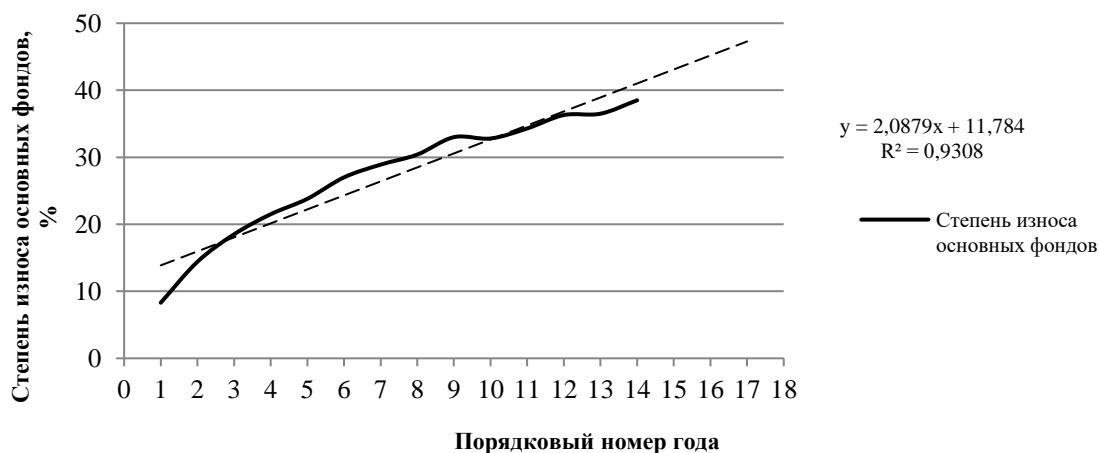


Рис. 3. Построение линии тренда (износ основных фондов)

Fig. 3. Creation of a trend line (depreciation of fixed assets)



Рис. 4. Графическое изображение прогноза степени износа основных фондов железнодорожного транспорта России

Fig. 4. A graphical representation of the forecast of the degree of depreciation of fixed assets of railway transport in Russia

Представлены результаты расчета для пессимистического и оптимистического прогноза развития событий (табл. 5), (рис. 4).

Таблица 5. Результаты прогнозирования пессимистического и оптимистического прогноза развития событий

Table 5. The results of forecasting a pessimistic and optimistic forecast of events

№ года/год	Степень износа основных фондов, %	
	Пессимистический, $(y_i - \Delta y)$	Оптимистический, $(y_i + \Delta y)$
15 / 2018	39,1886	47,0174
16 / 2019	41,0199	49,361
17 / 2020	42,8394	51,7172

С вероятностью 90 % степень износа основных фондов железнодорожного транспорта России к концу 2020 г. окажется в пределах $47,3 \pm 4,4389$ %, что говорит об увеличении износа при реализации любого из трех сценариев. Следовательно, исследуемый фактор требует повышенного внимания и принятия эффективных мер.

Применение тех или иных подходов к оценке рисков в ЧС зависит от конкретных целей и задач. Во многих случаях сложность решаемых задач требует одновременного применения нескольких методов. Параметрический метод позволяет сформировать систему показателей безопасности и провести сравнительную оценку основных элементов системы.

Анализ динамики показателей безопасности с применением рангов позволяет оценить тенденции и выявить факторы, по которым необходимо произвести прогноз для дальнейшего планирования мероприятий, направленных на повышения уровня безопасности.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики : офиц. портал. URL: <http://www.gks.ru>. (Дата обращения: 17.12.2019).
2. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : офиц. портал. URL: <https://www.mchs.gov.ru>. (Дата обращения: 17.12.2019).
3. Мусаев В.К., Юдаева О.С., Шварцбург Л.Э., Аксенов В.А., Хачатрян С.А. Анализ риска для оценки безопасности сложных технических систем // Наука и техника транспорта. 2016. № 3. С. 56–59.
4. Габдулхаков Р.Р., Ягудин Р.И., Бахтияров А.М., Елизарьева Е.Н., Марванов Р.В. Сравнительный анализ современных методов оценки риска для обеспечения безопасности // Бюллетень результатов научных исследований. 2017. № 1–2 (22–23). С. 5–15.
5. Левин С.Н., Лаврентьева А.Н., Васильев Г.Г. Анализ методов оценки риска аварий и идентификации опасностей при разработке мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. № 4 (86). С. 141–151.
6. Махутов А.Н., Гаденин М.М., Соколов А.М. Развитие методов анализа техногенных опасностей и рисков для объектов железнодорожного транспорта // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2014. № 6. С. 3–12.

7. О стратегии национальной безопасности Российской Федерации : Указ През. РФ от 31.12.2015 № 683. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191669/61a97f7ab0f2f3757fe034d11011c763bc2e593f/. (Дата обращения: 09.01.2020).
8. Копылова А.В. Прогнозирование риска при эксплуатации железнодорожного подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2016. № 7. С. 74–76.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска: утв. и вв. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Введ. 01.12.2011. М. : Стандартинформ, 2012.
10. Янников И.М., Латыпова И.А., Телегина М.В. Применение ГИС-технологий в области анализа риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера территорий // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 2 (29). С. 81–84.
11. Султанов Р.М., Ибатуллина Л.А. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным транспортом // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 1 (107). С. 176–185.
12. Куракина И.Н., Ивлиев И.А. Методы оценки экологических рисков на основе разнородных данных // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 2. С. 46-51.
13. Бельская Е.Н., Сугак Е.В. Оценка экологических рисков // Решетневские чтения. 2014. Т. 2. С. 345–346.
14. Вишняков Я. Д., Радаев Н. Н. Общая теория рисков. М. : Академия, 2008. 368 с.
15. Красковский А.Е., Вырков С.А. Основные подходы и методы доказательства безопасности движения // Железнодорожный транспорт. 2016. № 3. С. 61–65.
16. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций. Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации. Утв. МЧС России 9.01.2008 г. №1-4-60-9. URL: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/f35/f35a0297f243c1f8bac766c84efc5aa3.pdf>. (Дата обращения: 15.01.2020).
17. Фаустова О.Г. Методика оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций в мультимодальных перевозках // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2014. № 1. С. 109–116.
18. Анардович С.С., Руш Е.А. Анализ факторов, влияющих на состояние безопасности на железнодорожном транспорте // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы X междунар. науч.-практ. конф. Иркутск: в 2 т. : Изд-во ИрГУПС, 2019. Т. 1. С. 143–148.
19. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев. Иркутск, 2011.

References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki: ofits. portal [Federal state statistics service: the official portal]. URL: <http://www.gks.ru>.
2. Ministerstvo Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoi oborony, chrezvychainym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiinykh bedstviy: ofits. portal. [The Ministry of the Russian Federation for civil defence, emergencies and elimination of consequences of natural disasters: the official portal]. URL: <https://www.mchs.gov.ru>.
3. Musaev V.K., Udaeva O.S., Shvartsburg L.E., Aksenov V.A., Khachatryan S.A. Analiz riska dlya otsenki bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Risk analysis for the safety assessment of complex technical systems]. Nauka i tekhnika transporta [Science and technology in transport], 2016, No. 3, pp. 56–59.
4. Gabdulkhakov R.R., Yagudin R.I., Bakhtiyarov A.M., Elizar'eva E.N., Marvanov R.V. Sravnitel'nyi analiz sovremennykh metodov otsenki riska dlya obespecheniya bezopasnosti [Benchmarking for up-to-date risk assessment methods for safety assurance]. Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy [Bulletin of scientific research results], 2017, No. 1–2 (22–23), pp. 5–15.
5. Levin S.N., Lavrent'eva A.N., Vasil'ev G.G. Analiz metodov otsenki riska avarii i identifikatsii opasnostei pri razrabotke meropriyatii po preduprezhdeniyu chrezvychainykh situatsii [Accident risk assessment and hazards identification analysis to prevent emergency situations]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov [Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products], 2011, No. 4 (86), pp. 141–151.
6. Makhutov A.N., Gadenin M.M., Sokolov A.M. Razvitie metodov analiza tekhnogennykh opasnostei i riskov dlya ob"ektov zheleznodorozhnogo transporta [Techniques development to analyse railway objects specific technogenic hazards and risks]. Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Railway research institute bulletin], 2014, No. 6, pp. 3–12.
7. O strategii natsional'noi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii [On the national security strategy of the Russian Federation]. Ukaz prezidenta RF [Decree of the President of the Russian Federation], 2015. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191669/61a97f7ab0f2f3757fe034d11011c763bc2e593f/.
8. Kopylova A.V. Prognozirovanie riska pri ekspluatatsii zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Risk prediction for rolling stock operation]. Zheleznodorozhnyi transport [The railway transport], 2016, No. 6, pp. 74–76.
9. Menedzhment riska. Metody otsenki riska [Risk management. Risk assessment methods]. Moscow: Standartinform Publ., 2012.
10. Yannikov I.M., Latypova I.A., Telegina M.V. Primenenie GIS-tekhnologii v oblasti analiza riska chrezvychainykh situatsii prirodno i tekhnogenno kharaktera territorii [Application of GIS technology in the field of risk analysis for emergency situations of natural and man-made territories]. Intellektual'nye sistemy v proizvodstve [Intelligent manufacturing technology], 2016, No. 2 (29), pp. 81–84.

11. Sultanov R.M., Ibatullina L.A. Prognozirovaniye chrezvychainykh situatsii pri transportirovke nefteproduktov zheleznodorozhnym transportom [Emergency prediction for railway transportation of petroleum products] Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov [Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products], 2017, No. 1 (107), pp. 176–185.
12. Kurakina I.N., Ivlichev I.A. Metody otsenki ekologicheskikh riskov na osnove raznorodnykh dannykh [Environmental risk assessment methods based on heterogeneous data]. Izvestiya SPbGETU "LETI" [Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University], 2015, No. 2, pp. 46–51.
13. Bel'skaya E.N., Sugak E.V. Otsenka ekologicheskikh riskov [Environmental risk assessment]. Reshetnevskie chteniya [Reshetnev readings], 2014, Vol. 2, pp. 345–346.
14. Vishnyakov Y.D., Radaev N.N. Obshchaya teoriya riskov [General risk theory]. Moscow: Akademiya Publ., 2008, 368 p.
15. Kraskovskii A.E., Vyrkov S.A. Osnovnye podkhody i metody dokazatel'stva bezopasnosti dvizheniya [Basic approaches and methods for proving traffic safety]. Zheleznodorozhnyi transport [The railway transport], 2016, No. 3, pp. 61–65.
16. Metodiki otsenki riskov chrezvychainykh situatsii i normativy priemlegomogo riska chrezvychainykh situatsii. Rukovodstvo po otsenke riskov chrezvychainykh situatsii tekhnogennogo kharaktera, v tom chisle pri ekspluatatsii kriticheskikh vazhnykh ob"ektov Rossiiskii Federatsii [Methodologies for assessing the risks of emergency situations and standards for acceptable risk of emergency situations. Guidelines for assessing the risks of technological emergencies, including the operation of critical facilities of the Russian Federation], 2008. URL: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/f35/f35a0297f243c1f8bac766c84efc5aa3.pdf>.
17. Faustova O.G. Metodika otsenki riskov voznikoveniya chrezvychainykh situatsii v mul'timodal'nykh perevozkakh [Technique of an assessment of risks of emergency situations in multimodal transportations]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technology], 2014, No. 1, pp. 109–116.
18. Anardovich S.S., Rush E.A. Analiz faktorov, vliyayushchikh na sostoyaniye bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte [Analysis of factors affecting the state of safety in railway transport]. Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona : materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [The Transport Infrastructure of the Siberian Region: materials of the Tenth Int. scientific and practical conf.]. Irkutsk: in two volumes: IrGUPS Publ., 2019, Vol. 1, pp. 143–148.
19. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improving freight forwarding services for cargo owners]. Irkutsk, 2011.

Информация об авторах

Анардович Светлана Сергеевна – аспирант кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kachina_sveta@yahoo.com

Рущ Елена Анатольевна – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lrush@mail.ru

Information about the authors

Svetlana S. Anardovich – Ph.D. Student of the Subdepartment of Life Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kachina_sveta@yahoo.com

Elena A. Rush – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Subdepartment of Life Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lrush@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).75-84

УДК 625.144.2

Экспериментальное определение боковых сил в системе «колесо – рельс» при движении поездов по горно-перевальному участку

А. П. Ресельс, Е. В. Филатов, Д. А. Ковенькин ✉, **Т. М. Баранов**

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ kovenkin_pph@irgups.ru

Резюме

Современная мировая экономика диктует новые правила для всех областей жизни и человечества в целом. Постоянно увеличивается потребление и производство разнообразных товаров, как следствие растет роль процесса их взаимодействия. Процесс грузовых перевозок на железных дорогах имеет ряд трудностей, связанных с необходимостью постоянного увеличения провозной и пропускной способностей. Огромные вложения в развитие инфраструктуры заставляют рассматривать другие способы наращивания объемов. Решением проблемы стало внедрение тяжеловесного движения и использование длинносоставных поездов. Однако с ростом осевых и погонных нагрузок в значительной мере изменилось взаимодействие пути и подвижного состава. Увеличение грузонапряженности повлекло рост эксплуатационных расходов на содержание железнодорожного полотна. Все службы пути работают над оптимизацией этого процесса, но объективные данные показывают, что несмотря на все усилия состояние инфраструктуры ухудшается стремительными темпами. Поэтому главной задачей науки является оптимизация, конформность всех элементов системы «экипаж – путь». Настоящая статья посвящена анализу результатов экспериментальных исследований движения поездов по участку Иркутск –