

6. Vlashevskiy S.V. Effektivnost y problemy primeneniya rekuperativnogo tormozheniya na elektrovozakh peremennogo toka [Efficiency and Issues of AC Electric Locomotive Regenerative Braking Application] / S.V. Vlashevskiy, V.V. Kravchuk // Herald of VELNII, 2005. Iss. 2. Pp. 147–158.
7. Tikhmenev B.N. Elektrovozy peremennogo toka so staticheskimi preobrazovatelyami [Alternating Current Electric Locomotives With Static Converters] / B.N. Tikhmenev // Transzheldorizdat, Moscow, 1958. 268 p.
8. Patent No. RU2322749 / S.V. Vlashevskiy, A.K. Babichuk, O.V. Melnichenko // Patent holder: Far Eastern State Transport University. Applied 20 November 2006, published 20 April 2008. Moscow, Russia: Rospatent, 2006.
9. Patent No. RU2418354 / S.V. Vlashevskiy, E.V. Bunyaeva, V.G. Skorik, D.S. Fokin // Patent holder: Far Eastern State Transport University. Applied 7 April 2010, published 10 May 2011. Moscow, Russia: Rospatent, 2010.
10. Patent No. RU2737075 / S.A. Boginskiy, O.V. Melnichenko, A.Yu. Portnoy, A.O. Linkov, S.G. Shramko, I.A. Barinov // Patent holder: Irkutsk State Transport University. Applied 26 March 2020, published 24 November 2020. Moscow, Russia: Rospatent, 2020.
11. Patent No. RU2561913 / S.V. Vlashevskiy, V.V. Semchenko, O.V. Melnichenko // Patent holder: Vlashevskiy S.V. Applied 18 April 2014, published 10 September 2015. Moscow, Russia: Rospatent, 2014.
12. Yang Sh. An Industry-Based Survey of Reliability in Power Electronic Converters / Sh. Yang, A. Bryant, Ph. Mawby, D. Xiang, L. Ran, P. Tavner // IEEE Transactions on Industry Applications, May – June 2011. Vol. 47. Iss. 3, 14 March 2011. Pp. 1441–1451.
13. Ciappa M. Lifetime Prediction of IGBT Modules for Traction Applications / M. Ciappa, W. Fichtner // 2000 IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings (38th Annual), 10–13 April 2000. Pp. 210–216.
14. Linkov A.O. Matematicheskoe modelirovanie raboty elektrovoza s novoy vypriamitelnoy ustanovkoy vozbuzhdeniya na IGBT-tranzistorakh [Mathematical Modelling of Electric Locomotive Operation With a New IGBT-Based Rectifier Excitation Device] / A.O. Linkov, O.V. Melnichenko, A.Yu. Portnoy, S.G. Shramko // Nauka i tekhnika transporta [Transport Science and Technology], 2013. Iss. 2. Pp. 21–28.
15. Ustinov R.I. Modelirovanie avariynih processov vypriamitelno-invertornykh preobrazovately elektrovoza pri propuske upravlyayushih impulsov [Modelling of Electric Locomotive Reversible Power Converter Emergency Processes Due To Control Impulses Omission] / R.I. Ustinov, O.V. Melnichenko // Herald of INRTU, 2018. Iss. 3. Pp. 244–254.
16. Tomilov V.S. Proposals for Introduction of Modern Power Semiconductor Devices Into Converter-Fed Commutator Motor Locomotives of Russian Railways / V.S. Tomilov, T.V. Volchek, I.A. Barinov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 9 June 2020.
17. Patent No. RU2689786 / I.A. Barinov, S.V. Vlashevskiy, Yu.V. Gazizov, A.O. Linkov, O.V. Melnichenko, A.Yu. Portnoy, S.G. Shramko, D.A. Yagovkin // Patent holder: LLC “Transport Progressive Technologies”. Applied 13 June 2018, published 29 May 2019. Moscow, Russia: Rospatent, 2018.
18. Patent No. RU2728891 / I.A. Barinov, O.V. Melnichenko, A.Yu. Portnoy, A.O. Linkov, S.G. Shramko, D.A. Yagovkin, V.S. Tomilov // Patent holder: Irkutsk State Transport University. Applied 16 December 2019, published 31 July 2020. Moscow, Russia: Rospatent, 2019.

Информация об авторах

Баринов Игорь Александрович – аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: IgorAxBarinov@gmail.com

Information about the authors

Igor A. Barinov – post-graduate student at Electric Rolling Stock Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: IgorAxBarinov@gmail.com

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).175-183

УДК 652.2

Европейская практика внедрения риск-менеджмента в систему управления безопасностью на железнодорожном транспорте

О. Г. Киселёва, Ж. Ж. Альтаева, А. Д. Кунебаев✉

Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

✉ adilet_97.kz@bk.ru

Резюме

В статье проанализирован европейский опыт использования механизмов по управлению рисками в области обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте. Безопасность и надежность перевозочного процесса на железных дорогах государств-членов Евросоюза гарантирована построением эффективных систем менеджмента безопасности движения, опирающихся на инструменты риск-менеджмента. В европейской практике управления безопасностью на железнодорожном транспорте управление рисками является обязательным элементом Системы менеджмента безопасности движения. Главной целью системы риск-менеджмента в области безопасности движения является снижение существующих уровней рисков до установленного допустимого значения и дальнейшее поддержание достигнутых значений. Для этого разработан комплекс мер по управлению риском, которые выполняются всякий раз, когда изменение условий эксплуатации или появление новых данных порождают новые риски транспортных происшествий и событий. Европейская система риск-менеджмента является отправной точкой управления безопасностью железнодорожных систем госу-

дарств-членов Евросоюза, где управление рисками осуществляется на протяжении всего жизненного цикла железнодорожной системы, начиная с этапа проектирования до завершения ее эксплуатации. На железнодорожном транспорте государств-членов Евросоюза применяется общая система риск-менеджмента, которая представляет собой модель количественной оценки рисков, основанную на сценариях опасных событий. Данная модель оценки риска базируется на изучении причин и следствий с использованием техник «анализ дерева отказов» и «анализ дерева событий» для представления каждого опасного события. Европейская модель оценки рисков гибкая и может быть легко адаптирована для оценки и мониторинга риска безопасности других элементов.

Ключевые слова

железнодорожный транспорт, безопасность движения, система менеджмента безопасности, зарубежные модели управления безопасностью движения, показатели безопасности движения

Для цитирования

Киселёва О.Г. Европейская практика внедрения риск-менеджмента в систему управления безопасностью на железнодорожном транспорте / О. Г. Киселёва, Ж. Ж. Альтаева, А. Д. Кунебаев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 175–183. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).175-183

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.10.2020, поступила после рецензирования: 20.10.2020, принята к публикации: 10.11.2020

European practice of risk management implementation in the railway safety management system

O. G. Kiseleva, Zh. Zh. Al'taeva, A. D. Kunebaev✉

Tynyshpayev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, Kazakhstan

✉ adilet_97.kz@bk.ru

Abstract

The article analyzes the European experience of using risk management mechanisms in the field of railway traffic safety. The safety and reliability of the transportation process on the railways of the European Union Member States is guaranteed by the construction of effective traffic safety management systems based on risk management tools. In the European practice of railway safety management, risk management is a mandatory element of the Traffic Safety Management System. The main goal of the risk management system in the field of traffic safety is to reduce the existing risk levels to the established acceptable level and further maintain the achieved risk levels no higher than the established acceptable level. For this purpose, a set of risk management measures has been developed, which are implemented whenever changes in operating conditions or the appearance of new data give rise to new risks of transport accidents and events. The European Risk Management System is the starting point for the safety management of the railway systems of the European Union Member States, where risk management is carried out throughout the entire life cycle of the railway system, from the design stage to the completion of its operation. A common risk management system is applied in the railway transport of the European Union Member States, which is a quantitative risk assessment model based on hazardous event scenarios. This risk assessment model is based on observations in the form of cause-and-effect analysis using the Fault Tree Analysis and the Event Tree Analysis techniques to represent each hazardous event. The European risk assessment model is flexible and can be easily adapted to assess and monitor the security risk of other elements.

Keywords

railway transport, traffic safety, safety management system, foreign traffic safety management models, traffic safety indicators

For citation

Kiseleva O. G., Al'taeva Zh. Zh., Kunebaev A. D. Evropeiskaya praktika vnedreniya risk-menedzhmenta v sistemu upravleniya bezopasnost'yu na zheleznodorozhnom transporte [European practice of risk management implementation in the railway safety management system]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 175–183. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).175-183

Article Info

Received: 10.10.2020, Revised: 20.10.2020, Accepted: 10.11.2020

Введение

В настоящее время деятельность железных дорог государств-членов Евросоюза (ЕС) осуществляется согласно международному стандарту ISO 55001:2015, в котором представлены требования к системе менеджмента активов. Одним из элементов данной системы управления активов является риск-менеджмент,

благодаря которому возможно достичь баланса между затратами, рисками и результативностью в условиях ограниченных финансовых ресурсов. Таким образом, в европейской практике построение эффективной системы управления безопасностью движения базируется на применении механизмов риск-менеджмента, которыми предусматривается управление транспортны-

ми процессами и ресурсами на основе определения экономически обоснованных значений показателей риска безопасности движения.

В процессе исследования данного вопроса стало понятно, что риск-менеджменту по безопасности движения посвящено значительное количество научно-исследовательских работ как европейских, так и отечественных авторов, что, несомненно, подтверждает актуальность тематики исследования по оценке рисков на железнодорожном транспорте [1–9]. В большинстве изученных научных статей идентифицированы общие подходы к управлению рисками, общие методы для оценки рисков и критерии принятия риска.

В целом, задачей управления рисками является минимизация возможного ущерба и вероятности возникновения рисков за счет планомерных воздействий на причины и последствия возникновения рисков.

Постановка задачи

В ЕС в разные годы, начиная с 1991 г., было утверждено четыре железнодорожных пакета мер, каждый из которых содержал документы, касающиеся безопасности движения, например, Директивы 2004/49/ЕС, 2008/110/ЕС и 2016/798/EU. В частности, согласно последней директиве в структуру системы управления безопасностью (SMS) введен обязательный элемент по управлению рисками и указано, что организации должны иметь процедуры для определения областей риска во всей организации, их оценки и выработки эффективных мер контроля для их уменьшения или устранения. При этом оценка риска должна проводиться с использованием общих методов безопасности (CSM), а остаточные риски должны соответствовать общим целям безопасности (CST).

CST определяют уровень безопасности, который, как минимум, должен быть достигнут в различных частях железнодорожной системы и в целом в каждом государстве-члене ЕС и выражаться в критерии принятия следующих рисков:

– отдельные риски, связанные с пассажирами, в том числе с персоналом, включая сотрудников подрядных организаций, с пользователями железнодорожных переездов и другими лицами, без ущерба действию существующих национальных и международных норм, устанавливающих меру ответственности;

– отдельные риски, связанные с несанкционированным доступом на территорию инфраструктуры железнодорожного транспорта;

– социальные риски.

На сегодняшний день в государствах-членах ЕС актуальными документами, регламентирующие вопросы в области управления рисками на железнодорожном транспорте, являются следующие нормативно-правовые акты:

1. Руководство ISO/IEC Guide 51:2014 «Аспект безопасности. Руководящие указания по включению их в стандарты».

2. Регламент ЕС 2015/1136 «Положение об общих методах оценки безопасности и оценки риска» (CSM RA).

3. Переработанная Директива 2016/798 «О безопасности на железнодорожном транспорте» [10–12].

Руководство ISO/IEC Guide 51:2014 содержит описание подхода, направленного на снижение риска, который может возникнуть в процессе проектирования, производства, функционирования (включая техническое обслуживание) и прекращения существования системы.

Регламентом ЕС 2015/1136 предусмотрено принятие поправок касательно «критериев приемлемости риска», которые содержат отличия принятия рисков, связанных с техническими системами, от принятия эксплуатационных рисков и общего риска на уровне железнодорожной системы. В этой связи необходимо отметить, что основным отличием переработанной Директивы 2016/798/EU по безопасности на железнодорожном транспорте от Директив 2004/49/ЕС и 2008/110/ЕС является то, что в ней управление безопасностью выполняется на основе рисков.

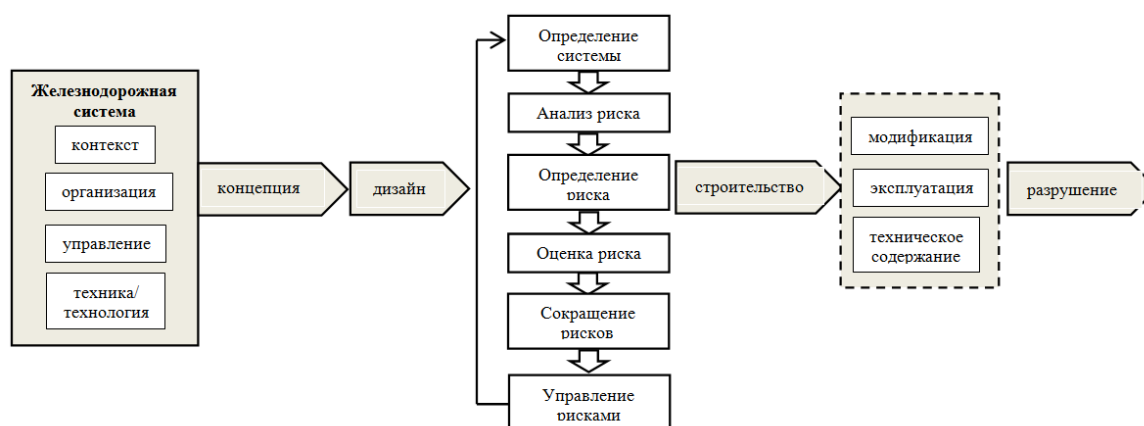


Рис. 1. Общий подход к управлению рисками
Fig.1. General approach to risk management

Общий подход к управлению рисками

На железнодорожном транспорте государственных ЕС подход к управлению рисками осуществляется в трех измерениях: железнодорожная система, жизненный цикл этой системы и процесс управления рисками (рис. 1) [13].

Хотя зачастую нежелательные события происходят на этапе строительства и эксплуатации, наиболее полезно учитывать весь жизненный цикл железнодорожной системы. Поэтому управление рисками должно начинаться с этапа проектирования системы с учетом как нормального режима, так и режима деградации для этой системы. Затем результаты управления рисками в системе на этапе проектирования передаются организации, отвечающей за этап строительства, и аналогичный подход применяется к следующему этапу в виде цикла [14].

Система управления рисками

Система управления рисками в общем виде включает три взаимосвязанных этапа, реализация которых основывается на принципе обратной связи: идентификация, оценка и управление.

Для идентификации рисков, необходимо понять, из чего состоит опасность, как ее распознать и определить, т. е. идентификация рисков состоит из двух этапов:

- определение причин возникновения аварии;
- определение последовательности хода выполнения (развития) событий.

Далее представлен процесс идентификации рисков (табл. 1).

Для оценки рисков на железных дорогах в государствах-членах ЕС в основном применяются следующие методы: FTA (анализ дерева отказов), ETA (анализ

дерева событий) и анализ сценариев. В исследовании приведена информация о применимости данных методов к процессу оценки рисков (табл. 2), а также представлена процедура анализа опасности и оценки риска (рис. 2) [15–16].

Частота каждого опасного события оценивается на основе исторических данных о происшествиях и структурированных экспертных оценок с использованием метода FTA. Кроме того, для оценки серьезности каждого опасного события применяется методика ETA и другие методы безопасности [17]. Риски для пассажиров, персонала и населения могут быть оценены как число эквивалентных смертельных случаев.

Модель оценки риска основана на наблюдениях в форме анализа причин и следствий с использованием деревьев отказов и деревьев событий для представления каждого из опасных событий. Сценарии возникновения железнодорожных происшествий служат основой моделей анализа причинно-следственных связей для оценки частоты. Сценарии развития железнодорожных происшествий служат основой моделей анализа последствий аварий для оценки серьезности. При таком подходе «риск» относится исключительно к риску безопасности с точки зрения оценки потенциального вреда для пассажиров, персонала и населения от эксплуатации и технического обслуживания железной дороги.

Риск выражается в виде FWI (летальных исходов и взвешенных травм) в год, в которых десять серьезных травм и 200 легких травм равны одному эквивалентному смертельному исходу [18]. Риск, связанный с конкретным опасным событием, рассчитывается по формуле:

Таблица 1. Процесс идентификации рисков

Table 1. Risk identification process

I этап – определение причин возникновения аварии		
Непосредственные причины	Нестандартные акты (действия)	Нестандартные действия / поведение тех, кто может вызывать опасные события
	Нестандартные условия	Физические условия, которые могут вызвать опасные события
Основные причины	Человеческие факторы	Способность, умение, физическое / психическое состояние заинтересованных людей
	Технологические факторы	Контроль, обслуживание и юридические критерии, связанные с условиями технической среды, включая инструменты и машины
	Внешние факторы	Незаконные действия, нестандартный климат и состояние обстоятельств
II этап – определение последовательности развития событий (разработка сценариев)		
1	Определение системы, границы: определение цели идентификации опасности и ее границы	
2	Идентификация опасных событий, опасностей и барьеров: включая определение мер, которые останавливают рост аварий	
3	Разработка сценариев возникновения аварий: определение взаимосвязей между опасными событиями, опасностями и барьерами	
4	Разработка сценариев развития аварий: с учетом соответствующих ключевых влиятельных факторов	
5	Управление сценарием аварии: составление журнала опасности	

Таблица 2. Характеристика применимости методов оценки рисков
Table 2. Characteristics of the applicability of risk assessment methods

Наименование метода	Процесс оценки рисков				Сравнительная оценка риска
	Идентификация риска	Анализ риска			
		Последствие	Вероятностные характеристики	Уровень риска	
FTA (анализ дерева отказов)	Применим	Не применим	Строго применим	Применим	Применим
ETA (анализ дерева событий)	Применим	Строго применим	Применим	Применим	Не применим
Анализ сценариев	Строго применим	Строго применим	Применим	Применим	Применим

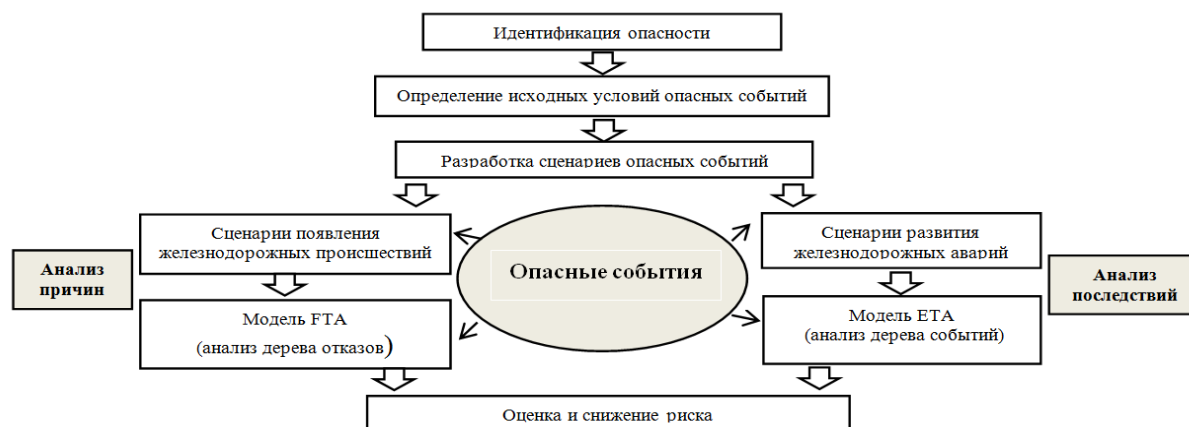


Рис. 2. Модель оценки риска на железнодорожном транспорте

Fig. 2. Model for assessing the risk in railway transport

$$CR = F \times C, \quad (1)$$

где F – частота (средняя частота, с которой происходит опасное событие); C – последствия (количество FWI / событие).

Обобщенная структура сценариев опасных событий представлена на примере сценария развития аварии при возникновении пожара из-за неисправности подвижного состава (рис. 3).

В ЕС для управления рисками имеется структура CSM RA, которая описывает общий обязательный европейский процесс управления рисками для железнодорожной отрасли и предписывает использование конкретных инструментов или методов. Целью CSM RA является гармонизация процессов оценки рисков, а также доказательства, полученные в ходе применения этих процессов. Применение общих процессов оценки, проведенных в одном государстве-члене ЕС, облегчит и минимизирует затраты на дальнейшую работу в других государствах-членах.

В соответствии с Регламентом ЕС 2015/1136 Европейское железнодорожное агентство (ERA) подготовило руководство по применению CSM RA, состоящее из двух частей:

1. Объяснение основных положений (5 глав).
2. Сборник примеров оценок риска, процессов и приложений, которые использовались в некоторых гос-

ударствах-членах ЕС до введения CSM RA (6 приложений) (табл. 3). Основная цель второй части – проиллюстрировать типы инструментов и методов, которые могут использоваться для применения CSM RA.

Таблица 3. Содержание руководства по применению Регламента комиссии (ЕС) 2015/1136

Table 3. Contents of the guidance on the application of Commission Regulation (EU) 2015/1136

Первая часть	1. Введение
	2. Применение CSM RA
	3. Применение процесса управления рисками в CSM RA
	4. Роль органа по оценке
Вторая часть	5. Различные требования для конкретных должностных лиц
	1. Определение значимости изменения
	2. Критерии для органов по оценке
	3. Смягченные критерии, когда существенное изменение не должно взаимно признаваться
	4. Руководство по организационным изменениям
	5. Исследование по проектированию в управлении риском
6. Глоссарий терминов и аббревиатур	

CSM RA применяется, когда любые технические, эксплуатационные или организационные изменения предлагаются в железнодорожной системе. Человек, вносящий изменения (известный как «предлагающий»), должен сначала подумать, влияет ли изменение на безопасность. Если нет никакого влияния на безопасность, процесс управления рисками в CSM RA не должен применяться, и заявитель должен вести учет того, как он пришел к своему решению.

Если изменение влияет на безопасность, заявитель должен решить, является ли оно значительным или нет, используя критерии в CSM RA (согласно Приложению 1 CSM RA). Если изменение является значительным, заявитель должен применить процесс управления рисками (в соответствии с Главой 3 CSM RA). Если изменение не является значительным, заявитель не обязан применять процесс управ-

ления рисками, но настоятельно рекомендуется использовать этот процесс для управления незначительными рисками безопасности. Заявитель должен вести учет того, как он пришел к своему решению. Этот процесс суммирован (рис. 4).

CSM RA содержат шесть критериев, которые следует изучить для определения «значимости»:

- последствия отказа – вероятный наихудший сценарий в случае отказа оцениваемой системы с учетом наличия барьеров безопасности вне системы;
- новшество, используемое при реализации изменений – касается как нововведений в железнодорожном секторе, так и новшеств только для организации, реализующей изменения;
- сложность изменения;
- мониторинг – невозможность контролировать внедренные изменения в течение жизненного цикла

Туннельный огонь	Обнаружение пожара	Подавление	Ответ водителя	Выход R/S	Выход из тоннеля	Прибытие в безопасную зону	Ущерб
		успех					Нет
						успех	Нет
				успех		отказ	Урон 1
	успех				отказ		Урон 2
			успех				Повреждено все
		отказ				успех	Нет
Пожар из-за отказа пс					успех	отказ	Урон 3
				успех			Урон 4
			отказ				Повреждено все
				отказ			Повреждено все
		успех					Нет
						успех	Нет
					успех		Урон 5
	отказ			успех		отказ	Урон 6
			успех		отказ		Урон 6
				отказ			Повреждено все
		отказ				успех	Нет
					успех		Урон 7
				успех		отказ	Урон 7
			отказ		отказ		Урон 8
					отказ		Повреждено все

Рис. 3. Пример сценария развития аварии
Fig. 3. An example of an accident development scenario

Изменение		
Влияет ли изменение на безопасность		
Нет	Да	
Применение процесса управления рисками в CSM RA не требуется	Предварительная работа по выявлению и пониманию всех соответствующих опасностей	
	Применение критериев CSM RA, чтобы решить, является ли изменение значительным	
	Вы уверены, что связанный с изменениями риск можно контролировать до приемлемого уровня?	
	Да	Нет
Вести учет того, как вы пришли к своему решению	Изменение не является значительным, и применение процесса управления рисками в CSM RA не является обязательным	Изменение является значительным
	Использовать процесс CSM RA добровольно или управлять рисками с помощью других мер (например, системы управления безопасностью)	Применять процесс управления рисками в CSM RA

Рис. 4. Алгоритм применения CSM RA для технических, эксплуатационных или организационных изменений

Fig. 4. Algorithm for applying CSM RA for technical, operational or organizational changes

системы и принимать соответствующие меры;

- обратимость (реверсивность) – невозможность вернуться в систему до изменения;
- дополнение – оценка значимости изменений с учетом всех недавних модификаций, связанных с безопасностью, для оцениваемой системы, которые не были оценены как существенные.

Основные результаты

Исследование европейской практики риск-менеджмента позволило сформулировать основные принципы управления рисками следующим образом:

1. Для каждого вида рисков выполняется идентификация рисков. При этом охватываются все этапы – от определения целей организации до выполнения эксплуатационной работы на сети.
2. Модель оценки риска представляет собой модель количественной оценки рисков, основанную на сценариях развития опасных событий.
3. Результаты оценки риска представляются в графическом виде в соответствии с критериями оценки риска, где компонентами риска являются частота (или вероятность) возникновения события и удельный размер его последствий.
4. Уровень детализации при оценке рисков выбирается таким, чтобы он был соразмерен серьезности и сложности соответствующих факторов риска.
5. Результаты анализа и оценки риска ранжируются по значимости с целью установления опти-

мального баланса между расходами, рисками и показателями эффективности.

Выводы

Главной целью создания системы риск-менеджмента в области безопасности движения является снижение существующих уровней рисков до установленного допустимого значения и дальнейшее поддержание достигнутого уровня.

Европейская система риск-менеджмента является отправной точкой управления безопасностью железнодорожных систем государств-членов ЕС, где управление рисками осуществляется на протяжении всего жизненного цикла железнодорожной системы, начиная с этапа проектирования до завершения ее эксплуатации.

На железнодорожном транспорте государств-членов ЕС применяется общая система риск-менеджмента, которая представляет собой модель количественной оценки рисков, основанную на сценариях аварий. Данная модель оценки риска базируется на анализе причин и следствий с использованием техник FTA и ETA для представления каждого из опасных событий.

Таким образом, европейская модель оценки рисков за счет своей гибкости может быть легко адаптирована для оценки и мониторинга риска безопасности других элементов.

Список литературы

1. Kadziński A., Kobaszyńska-Twardowska A., Gill A. The Concept of Method and Models for Risk Management of Hazards Generated at Railway Crossings. Transport means 2016: proceedings of the 20th international scientific conference. Kaunas University of Technology, Kaunas. Lithuania. 2016. Pp. 297–302.
2. Gintautas Bureika, Eduardas Gaidamauskas, Jonas Kupinas, Marijonas Bogdevicius, Stasys Steisūnas. Modelling the Assessment of Traffic Risk at Level Crossings of Lithuanian Railways. Transport. 2017. Vol. 32(3). Vilnius Gediminas Technical University. Pp. 282–290.

3. Шайдуллин Ш.Н. Эффективно использовать инструменты системы менеджмента безопасности движения // Железнодорожный транспорт. 2014, № 12. С. 4–8.
4. Елисеев В.А. Риск-менеджмент в практике железнодорожного транспорта // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2017, № 2(14). С. 11–19.
5. Карасев С.В., Карасева А.А. О проблемах применения методов риск-менеджмента к актуальным задачам обеспечения безопасности движения на сортировочных станциях ОАО «РЖД» // Прорывные научные исследования как двигатель науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Самара: Изд-во Аэтерна, 2015. С. 44–47.
6. Киселёва О.Г., Вахитова Л.В. Переход к новой модели управления безопасностью движения / Вестник КазАТК. 2014, № 5. С. 48–54.
7. Верёвкина О.И. Оценка вклада материально-технического снабжения в риски нарушения безопасности по причине некачественного ремонта и несоблюдения технологии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. Т. 63, № 3. С. 82–89.
8. Богданович С.В., Киселёва О.Г. Система управления безопасностью движения на железных дорогах в государствах-членах ЕС // Политранспортные системы: материалы XI международной научно-технической конференции. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2020. С. 276–280.
9. Анардович С.С., Руш Е.А. Оценка ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного характера на железнодорожном транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. Т. 66, № 2. С. 121–128.
10. ISO/IEC Guide 51:2014 Safety Aspect – Guidelines for their inclusion in standards. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.era.europa.eu/> (дата обращения: 02.11.2020).
11. Directive (EU) 2016/798 on railway safety. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.era.europa.eu/> (дата обращения: 30.10.2020).
12. Common safety method for risk evaluation and assessment (CSM-RA). [Электронный ресурс]: URL: <https://www.era.europa.eu/> (дата обращения: 30.10.2020).
13. Bohus Leitner. A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology. ScienceDirect. Procedia Engineering 187. 2017. Pp. 150–159.
14. Dvořák Z., Čížlák M., Leitner B., Soušek R., Sventekov E. Risk management in railway transport (in Slovak). Monograph. Pardubice: Institute of Jan Perner. 2010. 283 p.
15. Safety Assurance Guidance. Available from Internet: <http://www.rspb.co.uk/Library/improving-industry-performance/2013-guidance-safetyassurance-guide.pdf>
16. Safety Management Systems. Available from Internet: <http://www.rspb.co.uk/improving-industry-performance/safety-management-systems>
17. Kim M.S., Wang J.B., Park Ch.W., Cho Y.O. Development of the Risk Assessment Model for Railway Level-Crossing Accidents by Using the ETA and FTA. Journal of the Korean Society for Railway. 2009. 12(6). Pp. 936–943.
18. Novotná P., Markuci J., Titko M., Slivková S., Řehák D. Practical application of a model for assessing the criticality of railway infrastructure elements. Proceedings of scientific works, VŠB – Technical university Ostrava. 2015. Pp. 26–32.

References

1. Kadziński A., Kobaszyńska-Twardowska A., Gill A. The concept of method and models for risk management of hazards generated at railway crossings. Transport means 2016: proceedings of the 20th international scientific conference. Kaunas University of Technology, Kaunas. Lithuania, 2016. Pp. 297–302.
2. Bureika G., Gaidamauskas E., Kupinas J., Bogdevicius M., Steišūnas S. Modelling the assessment of traffic risk at level crossings of Lithuanian Railways. Transport, 2017. Vol. 32(3). Vilnius Gediminas Technical University. Pp. 282–290.
3. Shaidullin Sh.N. Effektivno ispol'zovat' instrumenty sistemy menedzhmenta bezopasnosti dvizheniya [To effectively use the tools of the traffic safety management system]. Zheleznodorozhnyi transport [Railway transport], 2014. No. 12. Pp. 4–8.
4. Eliseev V.A. Risk-menedzhment v praktike zheleznodorozhnogo transporta [Risk management in the practice of railway transport]. Ekonomicheskie i sotsial'no-gumanitarnye issledovaniya [Economic and socio-humanitarian studies], 2017. No. 2(14). Pp. 11–19.
5. Karasev S.V., Karaseva A.A. O problemakh primeneniya metodov risk-menedzhmenta k aktual'nym zadacham obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na sortirovochnykh stantsiyakh ОАО “RZhD” [On the problems of applying risk management methods to the urgent tasks of ensuring traffic safety at the marshalling yards of Russian Railways ОАО]. Proryvnye nauchnye issledovaniya kak dvigatel' nauki. Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Breakthrough scientific research as the engine of science. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]. Samara: Aeterna Publ., 2015. Pp. 44–47.
6. Kiselova O.G., Vakhitova L.V. Perekhod k novoi modeli upravleniya bezopasnost'yu dvizheniya [Transition to a new traffic safety management model]. Vestnik KazATK [KazATK Bulletin], 2014. No. 5. Pp. 48–54.
7. Verevkinina O.I. Otsenka vklada material'no-tekhnicheskogo snabzheniya v riski narusheniya bezopasnosti po prichine nekachestvennogo remonta i nesoblyudeniya tekhnologii [Evaluation of the contribution of logistics to risks of security breaches due to poor maintenance and lack of technology]. Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2019. Vol. 63. No. 3. Pp. 82–89.
8. Bogdanovich S.V., Kiselova O.G. Sistema upravleniya bezopasnost'yu dvizheniya na zheleznykh dorogakh v gosudarstvakh-chlenakh ES [Rail Traffic Safety Management System in the European Union Member States]. Politransportnyye sistemy:

materialy XI mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Multitransport systems: materials of the XI international scientific and technical conference]. Novosibirsk: SGUPS Publ., 2020. Pp. 276–280.

9. Anardovich S.S., Rush E.A. Otsenka ushcherbov ot chrezvychainykh situatsii tekhnogenno kharaktera na zheleznodorozhnom transporte [Risk assessment methods and forecasting emergency development scenarios for railway transportation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2020. Vol. 66. No. 2. Pp. 121–128.

10. ISO/IEC Guide 51:2014 Safety Aspect – Guidelines for their inclusion in standards [Electronic media]. URL: <https://www.era.europa.eu/> Accessed: November 02, 2020.

11. Directive (EU) 2016/798 on railway safety [Electronic media]. URL: <https://www.era.europa.eu/> Accessed: October 30, 2020.

12. Common safety method for risk evaluation and assessment (CSM-RA) [Electronic media]. URL: <https://www.era.europa.eu/> Accessed: October 30, 2020.

13. Leitner B. A general model for railway systems risk assessment with the use of railway accident scenarios analysis. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology. ScienceDirect. *Procedia Engineering* 187. 2017. Pp. 150–159.

14. Dvořák Z., Čížlák M., Leitner B., Soušek R., Sventeková E. Risk management in railway transport (in Slovak). Monograph. Pardubice: Institute of Jan Perner. 2010. 283 p.

15. Safety Assurance Guidance [Electronic media]. URL: <http://www.rssb.co.uk/Library/improving-industry-performance/2013-guidance-safetyassurance-guide.pdf>.

16. Safety Management Systems [Electronic media]. URL: <http://www.rssb.co.uk/improving-industry-performance/safety-management-systems>.

17. Kim M.S., Wang J.B., Park Ch.W., Cho Y.O. Development of the risk assessment model for railway level-crossing accidents by using the ETA and FTA. *Journal of the Korean Society for Railway*, 2009. 12(6). Pp. 936–943.

18. Novotný P., Markuci J., Titko M., Slivková S., Řehák D. Practical application of a model for assessing the criticality of railway infrastructure elements. *Proceedings of scientific works, VŠB – Technical university Ostrava*, 2015. Pp. 26–32.

Информация об авторах

Киселёва Ольга Геннадьевна – канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, e-mail: kisaolya.77@mail.ru

Альтаева Жанара Жаксыбаевна – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, e-mail: zh.altava79@mail.ru

Кунебаев Адилет Джамбулулы – магистрант по образовательной программе «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, e-mail: adilet_97.kz@bk.ru

Information about the authors

Ol'ga G. Kiseleva – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Organization of Transportation, Traffic and Transport Operation, Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, e-mail: kisaolya.77@mail.ru

Zhanara Zh. Al'taeva – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Subdepartment of Organization of Transportation, Traffic and Transport Operation, Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, e-mail: zh.altava79@mail.ru

Adilet D. Kunebaev – Master's student in the education program “Organization of Transportation, Traffic and Transport Operation”, Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, e-mail: adilet_97.kz@bk.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).183-189

УДК 656.2

Сравнительный анализ методов решения транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса

О. А. Лебедева¹, В. Е. Гозбенко^{1,2}✉

¹Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

²Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ vgozbenko@yandex.ru

Резюме

Транспортное моделирование связано с оптимизацией (поиском наилучшего из возможных решений) транспортной сети. Данное исследование направлено на полное удовлетворение грузового спроса в рамках ограничений производственных мощностей при минимально возможных затратах. Рассмотрена постановка задачи транспортной модели относительно критериев оптимизации (стоимости, времени). Приведены основные алгоритмы, позволяющие находить базовые решения методами Фогеля, северо-западного угла, наименьшей стоимости, двойного предпочтения. Используются также метод потенциалов и распределительный метод для поиска оптимального решения. Представлены базовые алгоритмы поиска начального пути. По результатам тестирования наименьшие транспортные затраты показал метод Фогеля, который считается наиболее трудоемким, однако начальный план перевозок, построенный с его использованием, часто близок или является оптимальным. С помощью протестированных методов построения первоначального плана можно получить опорный план.