



О системе оценки рисков в области функциональной безопасности движения поездов



Ольга ВЕРЁВКИНА

Olga I. VEREVKINA

On the System of Risk Assessment in the Field of Functional Safety of Train Traffic

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 215)

Рассмотрены возможности метода оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД», относящейся к компетенции управления пути и сооружений.

Моделирование вероятности риска производится с помощью дерева событий, а формирование модели, адекватно описывающей функцию целостности и риска, – на основе анализа технологии работы защитного комплекса. Для анализа динамики риска по наиболее критическим позициям и выявления приоритетных направлений реализации корректирующих мероприятий используются значимости факторов, определяемые по функции риска.

Ключевые слова: железная дорога, инфраструктура, безопасность движения, оценки риска, допустимый риск, оценка значимости факторов, контроль вероятности нарушений, корректирующие мероприятия.

Верёвкина Ольга Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры управления эксплуатационной работой Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия.

На настоящий момент система оценки рисков функциональной безопасности для инфраструктурных хозяйств базируется на результатах многолетней работы, которая ведётся под руководством ОАО «РЖД» и касается нормативной базы в области обеспечения безопасности движения [1–6], на нормативных документах УРРАН [7–11], а также прочих национальных и отраслевых стандартах и методиках [12–16].

В соответствии с поставленными задачами система должна не просто констатировать тот или иной уровень риска, а прогнозировать его и определять те меры, с помощью которых потери, связанные с транспортными происшествиями и событиями, оставались бы в зоне допустимого риска, соответствовали показателям принятой в декабре 2015 года обновлённой стратегии обеспечения гарантированной безопасности движения в холдинге «РЖД» [4].

* * *

Оценка рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД», согласно схеме управления пути и сооружений, содержит этапы, представленные на рис. 1.

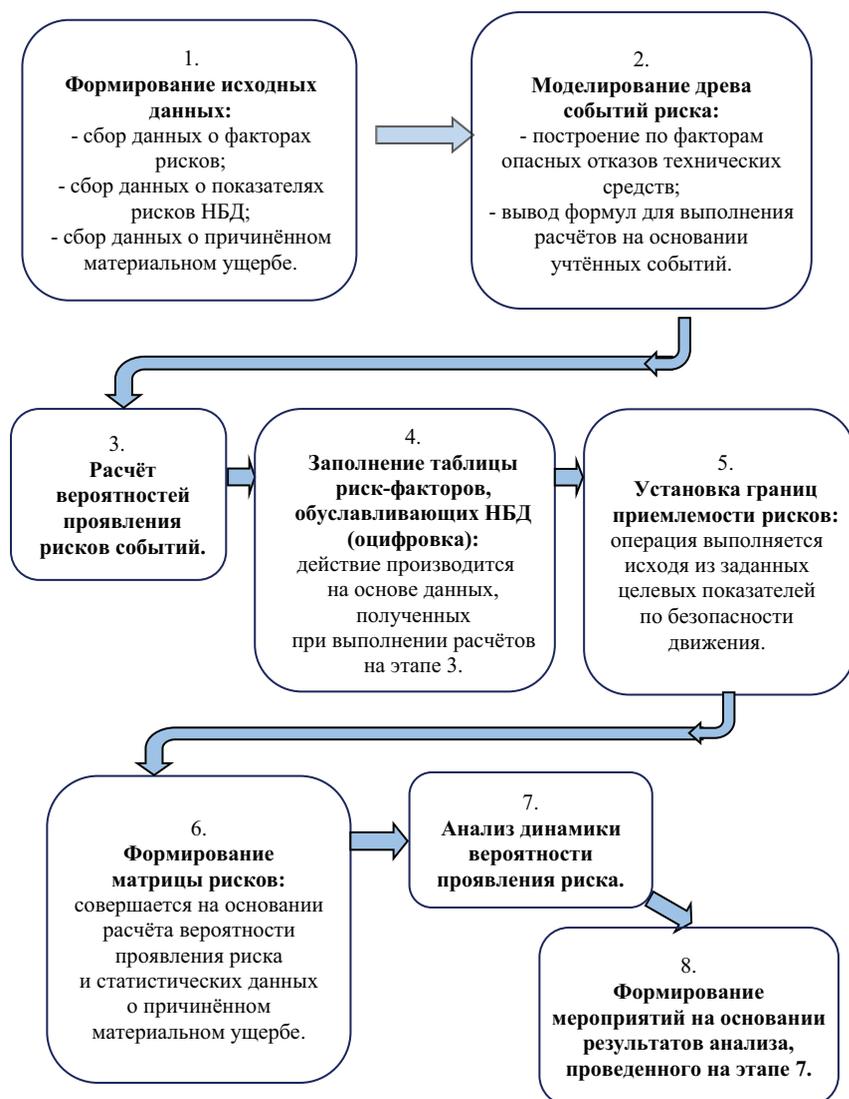


Рис. 1. Этапы оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД».

Моделирование вероятности риска с помощью древа событий проводится, чтобы адекватно воспроизвести процесс возникновения нарушений безопасности движения (НБД) и определить риски по каждому идентифицированному фактору, дать анализ динамики их возникновения, формирования приоритетных направлений по реализации корректирующих мероприятий.

Формой представления детерминированной модели оценки риска является логическая функция целостности системы [20–22].

Метод построения этой функции использует бинарные случайные события с двумя несовместными исходами (нормативное состояние – ненормативное состояние, выполнено действие – не выполнено действие, выявлено отклонение от нормативного состояния – не выявлено, своевременно выполнено – не своевременно, ограничена скорость – не ограничена и т.д.).

В типовом древе событий в путевом хозяйстве для единичного случая отказа или схода действуют пять обобщённых факторов (рис. 2):



Фактор вероятности отказа по технической составляющей (износ, тоннаж, деревянные шпалы)	Фактор обнаруживаемости	Фактор своевременности ограничительных мер	Фактор своевременности ремонта	Фактор соблюдения технологии ремонта
Возникло отклонение 3-й степени	Обнаружено своевременно? (все виды осмотров, вагон-лаборатория, съёмные средства)	Скорость ограничена?	Ремонт произведён своевременно?	Технология ремонта соблюдена?

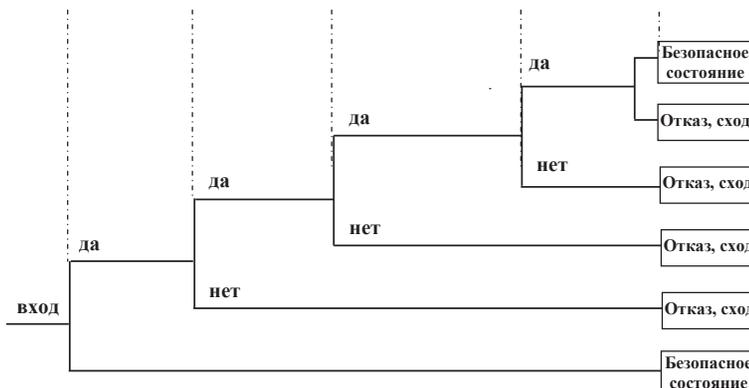


Рис. 2. Древо событий первого уровня.

- 1) фактор появления нарушения по технической составляющей;
- 2) фактор выявляемости;
- 3) фактор своевременности ограничительных мер;
- 4) фактор своевременности неотложного ремонта;
- 5) фактор соблюдения технологии ремонта.

Дополнением к традиционно используемому аппарату древа событий является:

- 1) представление древа блочным образом на трёх уровнях, что упрощает формирование функции риска;
- 2) использование статистического контроля на 1-м и 2-м уровнях, где значения вероятностей неблагоприятного развития событий сравниваются с данными, полученными на основе стандартного статистического анализа рисков безопасности движения.

Основным способом создания адекватного прототипа будем считать построение структурной модели риска с применением объектно-ориентированного подхода, разработанного НИИАС [6].

Схема, на базе которой формулируются критерии статистического контроля значе-

ний рисков, рассчитываемых с помощью древа событий, представлена на рис. 3.

Основные этапы анализа риска с использованием древа событий состоят в следующем [7].

1. Строится древо событий первого уровня, начальным событием которого является первичный фактор риска, конечным – набор состояний, которые характеризуются большей или меньшей вероятностью НБД, отказа, или отсутствием такой вероятности. Основные функции мониторинговых защитных систем должны быть отражены в структуре древа.

При подготовке информации для построения древа сначала составляется структура в виде графа, весь комплекс защитных мероприятий по опасному фактору разбит на блоки, а те в свою очередь – на уровни таких мероприятий внутри себя. Затем каждое мероприятие более низкого уровня разбивается на компоненты, которые связываются с низовыми факторами (показателями развития факторов) по шкале классификатора НИИАС [7]. Схема такого графа представлена в общем виде на рис. 4.

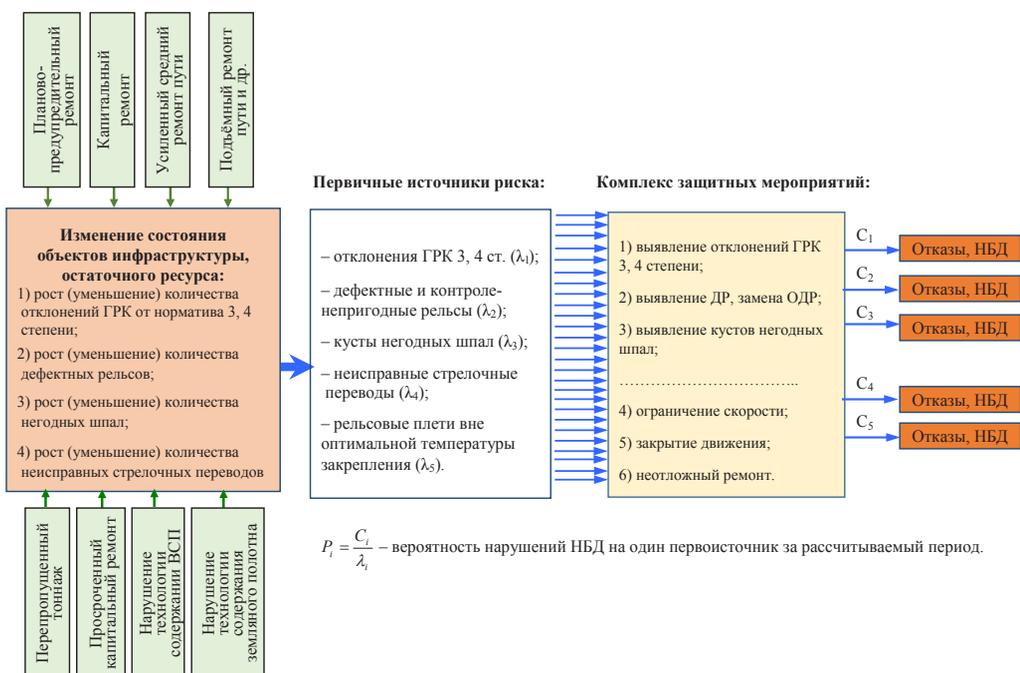


Рис. 3. Схема расчёта значений контроля вероятности НБД.

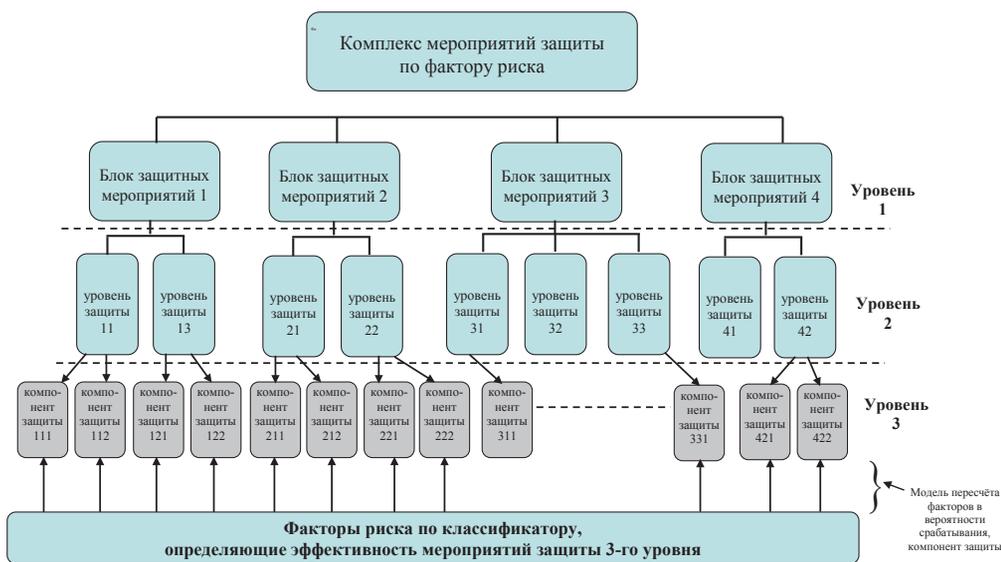


Рис. 4. Граф мероприятий защиты по фактору риска.

Соответственно древо событий первого уровня превращения единичного фактора в НБД демонстрирует рис. 5.

Все факторы делятся на две группы: первичные, инициирующие НБД (группировки 1–7, 10 по классификатору НИИАС), и факторы комплекса защитных мероприятий (группировки 8, 9).

2. Каждый блок защитных мероприятий тоже структурно разбивается на технологические элементы нижнего уровня, строятся древа событий второго уровня из этих элементов. В общем виде для блока i одно древо показано на рис. 6.

3. Для каждого уровня защиты всех блоков второго уровня формируется древо



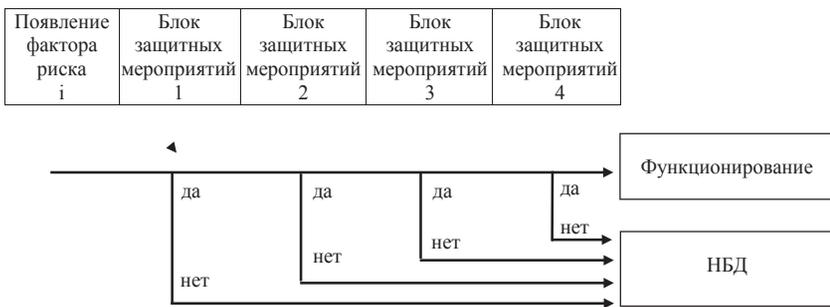


Рис. 5. Древо событий первого уровня.

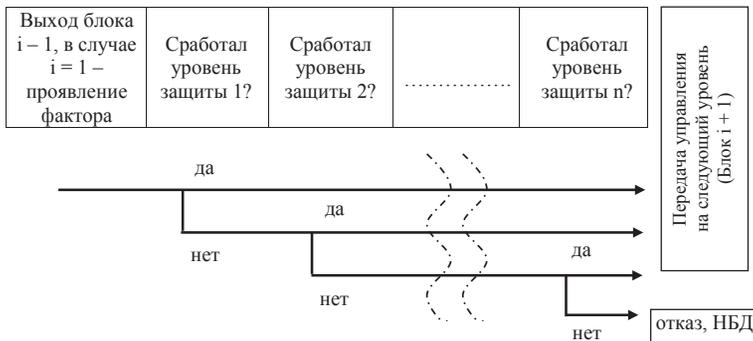


Рис. 6. Древо событий второго уровня.

событий третьего уровня по оценке вероятности срабатывания уровня защиты. Входом для древа третьего уровня является выход уровня защиты из предыдущего уровня, а выходы совпадают с выходами точки ветвления, к которой привязано древо третьего уровня на втором уровне.

4. По заданной структуре событий производится формирование функции риска по фактору.

Результаты расчёта вероятностей превращения первичных источников в риски заносятся уже в оцифрованном виде в классификатор факторов на том месте, которое стоит на пересечении строки вида риска и того фактора, что выбран инициирующим при построении древа событий.

Заполняются все такие пересечения со знаком «+» в классификаторе НИИАС.

5. Формирование матрицы риска проводится на основе анализа частот и потерь по рискам в зависимости от факторов.

6. Порядок анализа динамики вероятности проявления риска в зависимости от влияния факторов устанавливается с помощью анализа поведения функции риска – в зависимости от изменения величин факторов, являющихся аргументами этой функции:

$$f(P_i\Phi_{j,k}) = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где x_i – аргумент, соответствующий фактору i .

Анализ производится следующим образом:

- берутся частные производные функции по всем переменным;
 - рассчитываются значения этих производных в точке $(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$, отражающие текущее значение факторов;
 - из этих значений выбираются максимальные значения;
 - по тем переменным, производные которых превышают остальные, производится перерасчёт функции риска, с некоторым шагом;
 - сравниваются скорости изменения риска при изменении различных факторов;
 - выбираются те значения, которые соответствуют возможному изменению количественного значения фактора в реальном управлении.
7. Поскольку максимальные значения частных производных соответствуют тем переменным, по которым воздействие на риск максимально, то факторы, отвечающие этим переменным, оказывают максимальное влияние на величину вероят-

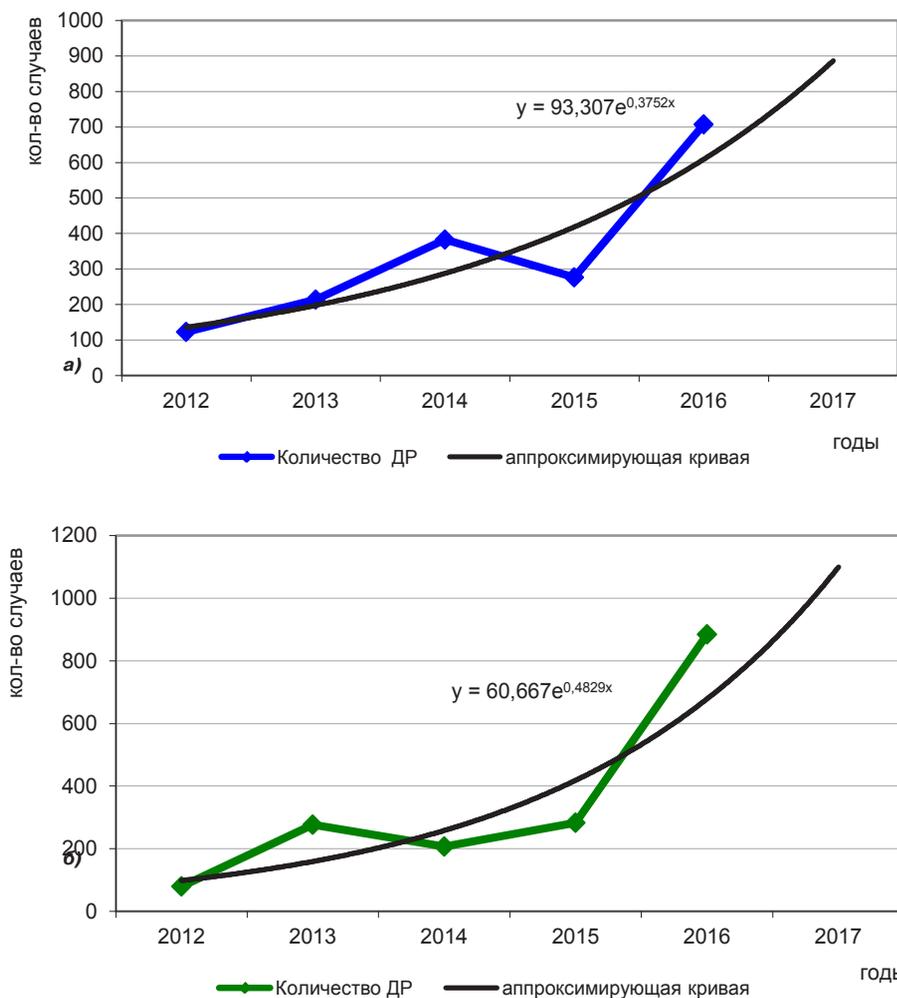


Рис. 7. Прогноз количества дефектных рельсов на 2017 год: а) на ПЧ-7; на ПЧ-10.

ности возникновения НБД анализируемого типа.

Направления реализации корректирующих мероприятий отбираются на основе критериев и значений, влияющих на уменьшение удельного веса факторов риска. Так как эти факторы оказывают наибольшее влияние, то эффективность ответных парирующих мероприятий по обеспечению безопасности движения также будет наибольшей.

* * *

Алгоритм анализа, показанный в статье, был применён для расчёта рисков возникновения нарушений безопасности движения поездов на скоростном участке Москва–Санкт-Петербург–Бусловская Октябрьской дирекции ин-

фраструктуры (ОПЧ-1, ПЧ-3, ПЧ-4, ПЧ-7, ПЧ-10) с декомпозицией по основным факторам – дефектность рельсового хозяйства, отклонения геометрии рельсовой колеи 3-й и 4-й степени, отступления в содержании стрелочных переводов.

Несмотря на то, что по основным показателям участок относится к разряду с невысоким риском НБД, некоторые тенденции здесь требуют пристального внимания и контроля. Так, на рис. 7 приведён прогноз количества дефектных рельсов на ПЧ-7 и ПЧ-10, который выделяет две нарастающие позиции.

Основные риски по технической составляющей на этом участке связаны:

1) с резким ростом дефектности рельсов на ПЧ-7 и ПЧ-10;





Таблица 1
Карта влияния факторов на риск возникновения нарушения безопасности движения с цифровой вероятностей сходов, изломов рельса под поездом

Виды нарушений безопасности движения	1		2		3								4																		
	Основные факторы	Отклонения ГРК 3, 4 ст.	Количество повторов отключений 3, 4 степени	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Дефектность рельсов-только-ства	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17															
Внутренние виды рисков	2. Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при поездной или маневровой работе, экипировке или других передвижениях	нет	0,083	0	0,019	0,046	0,0069	0	0,0062	0,0138	0,0046	0,0414	0,0047	0	0,0051	0,0418															
																	3. Излом рельса под железнодорожным подвижным составом	нет	0	0,718	0,23	0,344	0	нет	0,0044	0,0229	0,21	0,0015	0	0,0016	нет
																	2.1. Столкновения и сходы железнодорожного подвижного состава, загруженного опасными грузами	0,0058	0	0,00095	0,0032	0,00047	0	0,0044	0,0009	0,00032	0,0028	0,00032	0,00032	0	0,00036
Особые виды рисков	2.2. Столкновения и сходы подвижного состава в пассажирских поездах	0,0652	0	0,0154	0,0368	0,0053	0	0,0049	0,0110	0,0036	0,0036	0,032	0,00366	0	0,00040	0,033															
																	2.3. Сходы железнодорожного подвижного состава, допущенные перед искусственными сооружениями	0,01026	0	0,00237	0,0057	0,00084	0	0,0007	0,00017	0,00056	0,0051	0,00057	0	0,00063	0,0051

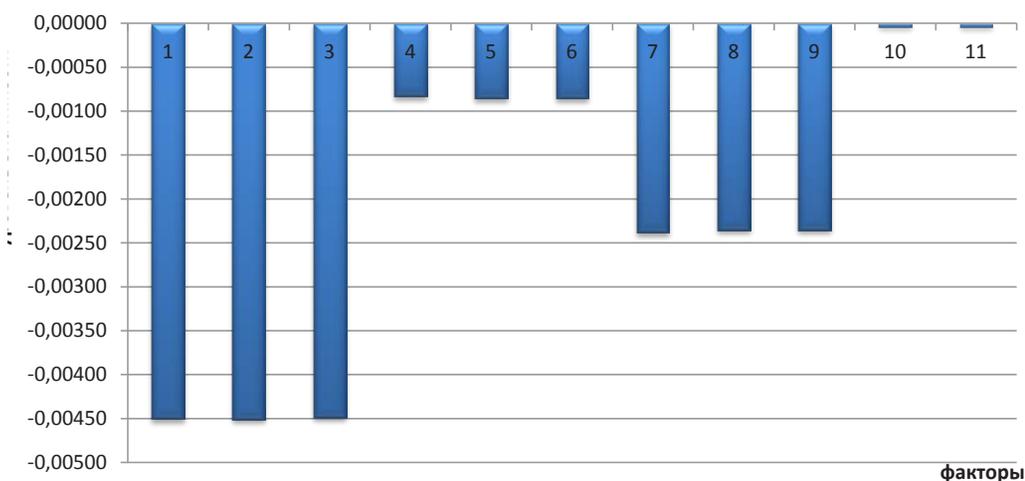


Рис. 8. Значимости основных факторов в плане влияния на риски.

2) с наметившимся резким ростом числа дефектности частей стрелочных переводов.

Кроме того, серьёзным риском на текущий момент и в ближайшей перспективе грозит излом рельса под железнодорожным подвижным составом, а также сход по причине такого излома (фактор – дефектность рельсов). Риск излома на ПЧ-7, ПЧ-10 превышает среднесетевой на порядок.

С помощью принятой методики получена карта влияния факторов на риск возникновения нарушения безопасности движения с оцифровкой вероятностей сходов, изломов рельса под поездом. Она представлена в таблице 1.

Пример действенности методики в плане оценки влияния (значимости) основных факторов на риски приведён на рис. 8. Оценка проводилась по показателям, определяющим степень развития факторов:

- неуккомплектованность штата дорожных мастеров;
- неуккомплектованность штата бригадиров пути;
- неуккомплектованность штата операторов путеизмерительных тележек;
- неуккомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек;
- текучесть кадров рабочих профессий;
- доля работников со стажем в должности менее 1 года;
- необеспеченность инструментом и средствами малой механизации;
- неуккомплектованность ПКЗ, %;
- невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %;

– необеспеченность средствами изменения параметров пути и стрелочных переводов.

На рис. 8 видно, что основное влияние на риск при текущих значениях прочих факторов в блоке «выявляемость» оказывают: укомплектованность контролёрами пути, исправность измерительного инструмента, текучесть кадров контролёров пути, процент выполнения плана путеизмерительной тележкой, вероятность исправности оборудования (коэффициент технической готовности) тележки, вероятность безошибочной работы оператора путеизмерительной тележки.

По факторам укомплектованности персонала и квалификации риски связаны с текучестью кадров бригадиров по контролю пути, а также операторов дефектоскопной тележки.

На основе анализа могут быть предложены меры по корректировке риска:

- 1) уточнение причин резкого роста дефектности рельсов, формирование запасов новых с учётом прогноза повышенного выхода из строя;
- 2) формирование запасов по ремкомплектам стрелочных переводов с учётом прогнозирования резкого роста дефектности их частей;
- 3) сохранение укомплектованности контролёров пути, уменьшение текучести в этой профессии;
- 4) решение вопроса о доукомплектовании измерительного инструмента на всех ПЧ скоростного хода (сейчас обеспеченность в среднем 50–60 %);





- 5) сохранение комплектности штата операторов путеизмерительных тележек, ограничение текучести в этой профессии;
- 6) поддержание штата монтеров пути на уровне 100 % (снижение текучести в этой профессии хотя бы в два раза уже значительно сокращает риск).

ВЫВОДЫ

Резюмируя сказанное, следует отметить, что на данный момент применение разработанной методологии оценки рисков в области функциональной безопасности движения поездов:

- а) требует ручной обработки больших массивов информации и весьма трудоёмко;
- б) формирование древа событий индивидуально для каждой железной дороги и даже отдельных участков, на которых технологии работы различаются;
- в) способы оценки риска требуют высокой профессиональной квалификации;
- г) имеются принципиальные отличия в учёте первичных источников риска (в автоматизированных системах хозяйств), и это приводит к тому, что расчёт прогноза учитывает состояние низовых факторов лишь экспертно, оценка их влияния на конечный результат учитывается «в целом».

То есть по факту направлением возможного развития оценочной системы является определение таких первичных источников риска и такого их учёта, которые позволяли бы адекватно оценивать прежде всего влияние низовых факторов функциональной безопасности движения поездов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 54505–2011. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М., 2011. – 34 с.
2. СТО «РЖД» 02.238–2011. Риск-менеджмент в организации обеспечения безопасности движения. – М., 2011. – 180 с.
3. Методика определения причинно-следственных связей (распоряжение ОАО «РЖД» № 1887р от 02.09.2013 г.). – М., 2013. – 48 с.
4. Стратегия гарантированного обеспечения безопасности движения (распоряжение ОАО «РЖД» № 2855р от 08.12.2015 г.). – М., 2015. – 52 с.
5. Методика нормирования риска безопасности движения в зависимости от эксплуатационных характеристик диспетчерских участков. – М.: ОАО «РЖД», 2014. – 41 с.

6. Методические рекомендации по построению матрицы рисков (распоряжение ОАО «РЖД» № 1946р от 22.09.2016 г.). – М., 2016.
7. СТО РЖД (УРРАН) 1.02.034–2010. Общие правила оценки и управления рисками. – М., 2010.
8. СТО РЖД 02.037–2011 Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Управление стоимостью жизненного цикла систем, устройств и оборудования хозяйств ОАО «РЖД». – М., 2011.
9. СТО РЖД 02.041–2011. Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Системы, устройства и оборудование путевого хозяйства. Требования надёжности и функциональной безопасности. – М., 2011.
10. СТО РЖД 02.043–2011. Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Системы, устройства и оборудование хозяйства электрификации и электроснабжения. Требования надёжности и функциональной безопасности. – М., 2011.
11. СТО РЖД 02.044–2011. Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Термины и определения. – М., 2011.
12. ГОСТ 32192–2013. Надёжность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. – М., 2013.
13. Национальный стандарт стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 31000–2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство». Утверждён приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2010 г. № 883-ст. – М., 2010.
14. ГОСТ Р МЭК 62502–2014. Менеджмент риска. Анализ древа событий. – М., 2014.
15. Методические рекомендации по оценке рисков на железнодорожной инфраструктуре ОАО «РЖД» (разработчик НИИАС, утв. 21.11.2011 г.). – М., 2011.
16. Методика идентификации рисков в области функциональной безопасности движения поездов на инфраструктуре ОАО «РЖД» для управлений пути и сооружений, автоматики и телемеханики, электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» (технический номер в ЕАСД 28.03.3366). – М., 2016.
17. Руководство по определению зон воздействия опасных факторов аварий со сжиженными газами, горючими жидкостями и аварийно-химически опасными веществами на объектах железнодорожного транспорта. – М.: УВО МПС РФ, 1997. – 124 с.
18. СНиП 2.05.02–85. Железные дороги колеи 1520 мм (раздел «Водоотводные устройства»). – М., 1985.
19. Методические рекомендации по расчёту ущерба от транспортных происшествий и иных связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта событий в ОАО «РЖД» (утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2236р от 15.09.2015 г.). – М., 2015.
20. Рябинин И. А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
21. Можаяв А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надёжности структурно-сложных систем. – Л.: ВМА, 1988. – 68 с.
22. Можаяв А. С., Громов В. Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. – СПб.: ВИТУ, 2000. – 145 с.

Координаты автора: **Верёвкина О. И.** – ov18111966@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.09.2017, принята к публикации 22.12.2017.