

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В ХОЗЯЙСТВЕ ПУТИ

Статья ориентирована на разработку алгоритмов для автоматизации выбора мероприятий по снижению рисков нарушений безопасности движения поездов в подсистеме верхнего строения пути. Представлены основы схем и алгоритмов для разработки автоматизированной системы, в которой уточнены способы оценки и вклады факторов, позволяющие избежать как недооценки, так и переоценки рисков, что необходимо для разработки более точных корректирующих мероприятий.

Ключевые слова: безопасность движения поездов, перевозочный процесс, риск, фактор, вклад, алгоритм, цифровизация, схема



О.И. Веревкина



О.Н. Попов

Поставленные руководством страны задачи по цифровизации процессов функционирования предприятий, для железнодорожного транспорта, касаются непосредственно такой области как безопасность движения поездов и в частности автоматизация выбора мероприятий по снижению рисков нарушений безопасности движения (НБД) поездов, как на уровнях дирекций, так и на уровнях линейных предприятий.

Решение задачи повысит динамичность в управлении рисками, а следовательно и устойчивость перевозочного процесса.

Сложность поставленной задачи требует отказа от алгоритмов линейного типа и сборки алгоритмов, построенных на основе сложных схем, приведенных ниже. Дополнительной сложностью является нечет-

кость в ряде случаев идентификации причин НБД. Тем не менее, накопление данных отраслевых АСУ позволяет формулировать и требования к алгоритмам и наполнять содержанием тестовые проверки работоспособности алгоритмов в ручном режиме.

Центральное требование к алгоритмам — соответствие отраслевым стандартам серии «Управление ресурсами, рисками, анализ надёжности» (УРРАН), разрабатываемым железнодорожными научными подразделениями.

Прочие требования к алгоритмам (принципы формирования) следующие:

1. Алгоритмы строятся не только на основе существующих нормативных документов по оценке рисков, но и на основе результатов упомянутой выше оценки, с учетом оценки функциональных рисков НБД поез-

Веревкина Ольга Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: исследования по обеспечению безопасности движения на железнодорожном транспорте. Автор 58 научных работ.

Попов Олег Нестерович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Техногенная безопасность» научно-исследовательского и испытательного центра (НИИЦ) «Криотрансэнерго» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: оценка рисков нарушений безопасности движения поездов, расчёты конструкций, математические модели. Автор 19 научных работ.

Денисов Владимир Васильевич, кандидат военных наук, доцент кафедры «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортная безопасность, специальные программы. Автор 14 научных работ.

дов и с учетом оценки вклада каждого из факторов, признанного влияющим на безопасность движения поездов [1].

2. Алгоритм учитывает планы предприятия по содержанию пути и объектов инфраструктуры.

3. В перспективе программа формирования мер по снижению рисков должна быть интегрирована в автоматизированную систему управления инфраструктурой (АСУ И).

Укрупненная схема алгоритмов представлена на рис. 1.

В соответствии со схемой, должны быть решены задачи:

1. Автоматической оценки функциональных рисков и факторного анализа на линейном предприятии;

2. Определены критерии по выбору риск-факторов, нуждающихся в корректировке.

При решении первой задачи должен быть выполнен факторный анализ и определен вклад каждого фактора.

Задачи по оценке функциональных рисков и факторного анализа подробно рассматривались в [1–4]. Алгоритм строится в соответствии со схемой решения задачи. Помимо шагов, описанных в [1–4], необходимо определить вклады каждого фактора. Одним из промежуточных этапов является определение точности, с которой производится оценка вклада фактора в общую величину риска.

Основным этапом алгоритмизации является алгоритмизация оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД» для управления пути и сооружений. Оценка содержит этапы, представленные на рис. 2 [5].

Как видно, алгоритмизация состоит из алгоритмизации укрупненных этапов 1–7, с интегрированием их в единую автоматизированную систему, с формированием выходных данных, в соответствии с рис. 1.

В соответствии со схемами на рис. 1,2, алгоритмизации подлежит как сбор информации из отраслевых систем, так и алгоритмизация моделирования

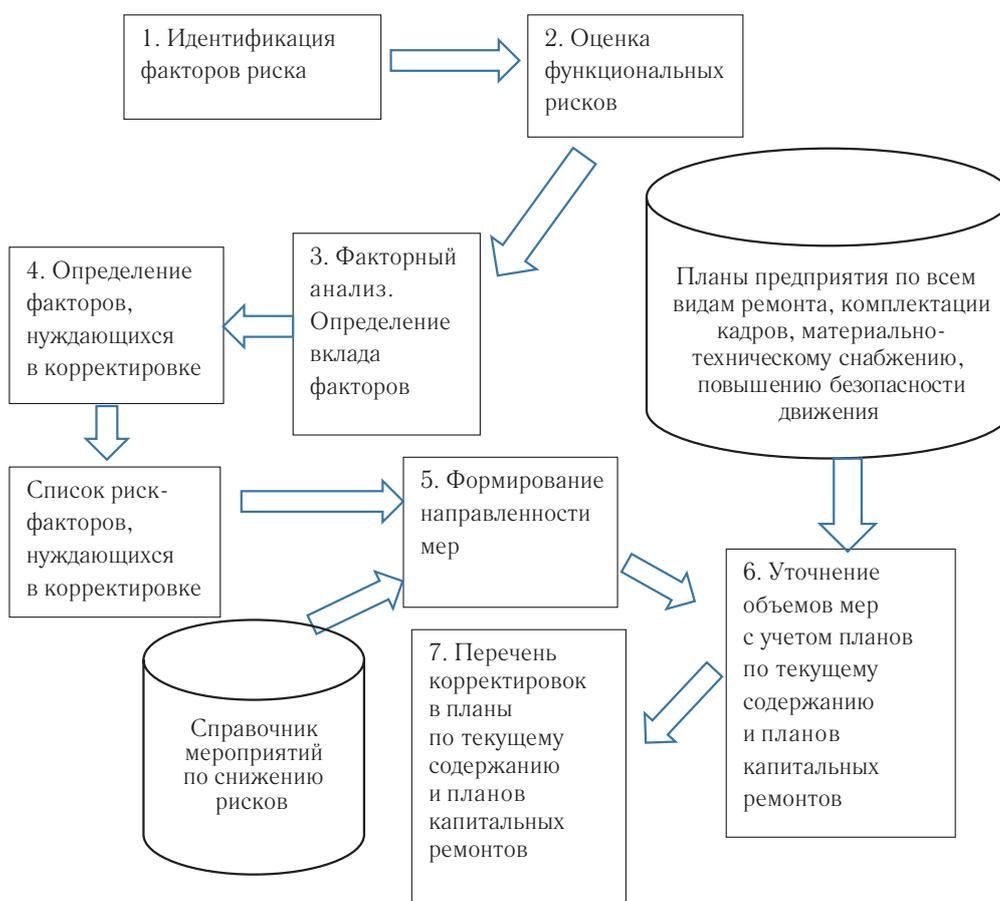


Рис. 1. Укрупненная схема алгоритма автоматизированного формирования мер по снижению рисков

вероятности и риска с помощью деревьев событий (которая проводится для формирования модели, адекватно описывающей процесс возникновения НБД для определения рисков по каждому идентифицированному фактору, анализа динамики риска по наиболее значимым факторам, формирования приоритетных направлений реализации корректирующих мероприятий). Существо этапов 1–7 подробно описано в [1;2;4;5].

Формирование величин самих вкладов, описано в [4], в статье же приведем несколько ключевых схем, на основании которых производится оценка таких факторов, как факторы материально-технического

снабжения и человеческий фактор — наиболее трудно оцениваемые величины. Анализ риска производится на заданных временных интервалах: месяц, квартал, полугодие, год.

Для риска схода в поездах, по причине инфраструктурной составляющей (за исключением разделов, где используются экспертные оценки), необходимо вычисление суммы произведений:

$$R = \sum_{i=1}^4 \lambda_i p_i w, \quad (1)$$

где λ_i — прогнозная интенсивность проявления факторов риска по технической составляющей;

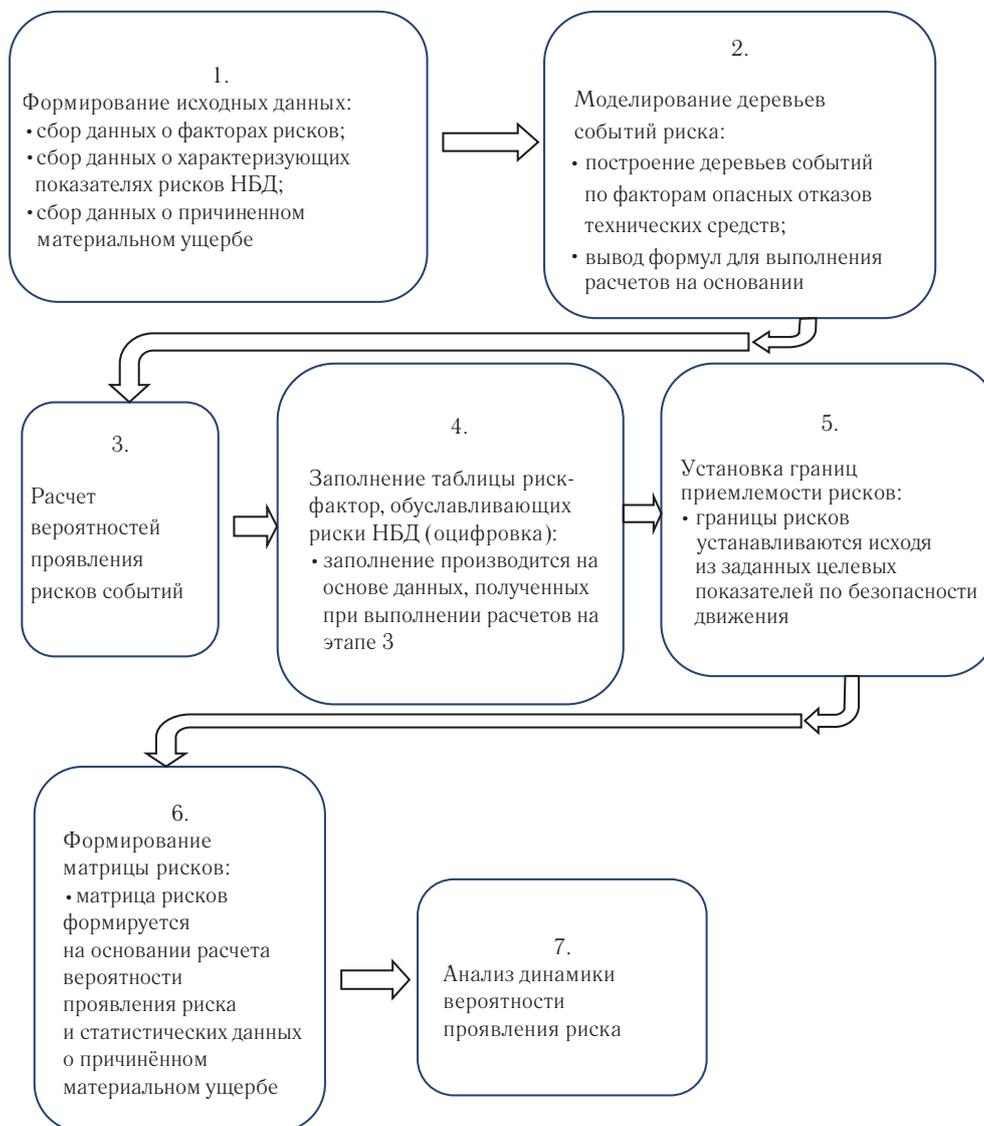


Рис. 2. Этапы оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД» для управления пути и сооружений

p_i – вероятность возникновения НБД на 1 случай проявления фактора риска по технической составляющей:

- отклонения геометрии рельсовой колеи;
- дефектность рельс;
- дефектность стрелочных переводов;
- нарушения норм содержания бесстыкового пути;

ω – средний ущерб от схода в поезде по статистическим данным.

Укрупненная схема расчетов компонентов рисков по технической составляющей представлена на рис. 3 [5].

На рис. 4 приведена схема расчётов вкладов факторов риска при ремонте, а также человеческого фактора.

Схема, на основании которой производится масштабирование, приведена на рис. 5, при оценке риска для НБД по фактору неисправностей геометрии рельсовой колеи (ГРК) 3,4 степени.

На рис. 5 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ доли в количественной оценке фактора риска,

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1. \quad (2)$$

Рассмотрим далее подробнее критерии выбора риск-факторов, нуждающихся в корректировке.

Оценка вкладов производится при условии формирования функции безопасности и риска, например на основе схем, полученных в свою очередь на основе деревьев событий – отказов.

Пусть функция риска (вероятность НБД) определена полиномом:

$$\Phi R(x_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

где x_i – переменные, характеризующие состояние факторов, со значениями в отрезке $[0, 1]$;

i, n – натуральные индексы.

Источник [6] определяет вклады переменной – x_i по формуле:

$$B(x_i) = \Phi R(x_i = x_i^0) - \Phi R(x_i = 1) \quad (4)$$

при конкретных значениях всех прочих переменных, отражающих состояние факторов, влияющих на безопасность и риск:

$$x_i = x_i^0, \text{ где } i = 1 \div n.$$

Там же нормированные вклады переменной – x_i определяются по формуле:

$$B^n(x_i) = B(x_i) / \sum_{i=1}^n B(x_i). \quad (5)$$

Несмотря на нелинейность, зависимости функции риска, вклады должны быть определены таким образом чтобы вероятность опасного события (НБД) состояла из суммы вкладов переменных x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\Phi R(x_i) = \sum_{i=1}^n B(x_i). \quad (6)$$

Очевидно, что расчет вкладов по формулам (4) или (5) поставленной задачи не решает, однако, если

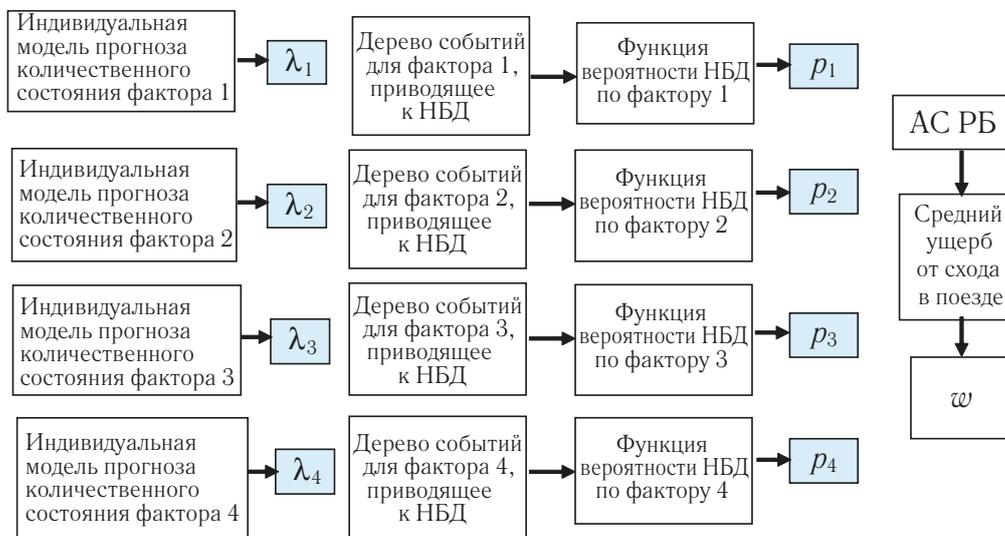


Рис. 3. Схема расчетов компонентов рисков по технической составляющей

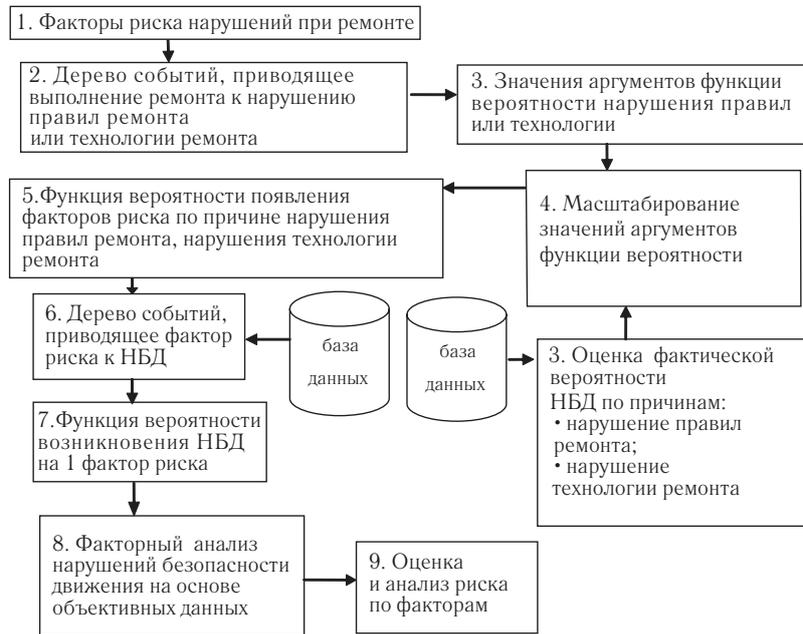


Рис. 4. Общая схема факторного анализа рисков при ремонте

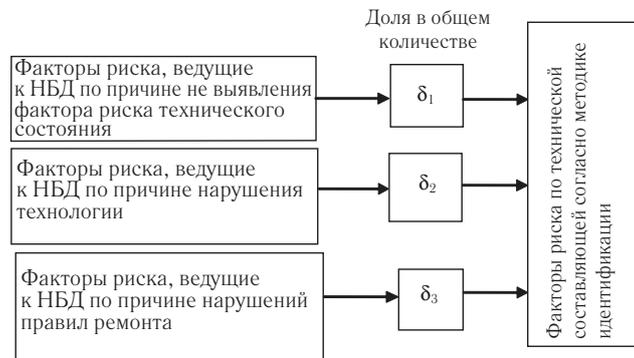


Рис. 5. Схема, используемая при получения условий масштабирования значений аргументов функции вероятности

после нормирования вкладов по формуле (5) произвести умножение на вероятность НБД формула (3), требуемое условие выполняется. Таким образом, при решении практических задач, необходимо использование формулы (7):

$$B_{\lambda}(x_i) = \Phi R(x_i) \cdot B(x_i) / \sum_{i=1}^n B(x_i) . \quad (7)$$



Литература

1. Федеральный закон от 09.02.2007 №16-ФЗ «О транспортной безопасности» (с изменениями 2 декабря 2019 года).
2. Веревкина, О.И. О системе оценки рисков в области функциональной безопасности движения поездов / О.И. Веревкина // Мир транспорта. –2017. –Т.15, №6 (73). –С. 206–221.
3. Веревкина, О.И. О гибридном методе прогнозирования рисков на железнодорожном транспорте на основании общего логико-вероятностного метода / О.И. Веревкина // Известия Петербургского университета путей сообщения. –2017. –Т.14, №4. –С. 615–627.
4. Методика идентификации рисков в области функциональной безопасности движения поездов на инфраструктуре ООО «РЖД» для управления пути и сооружений. (Распоряжение ОАО «РЖД» от 01.12.2016г. №4246р.). –М., 2016.
5. Методика оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД». –М.: ОАО «РЖД», 2016. –72 с.
6. Веревкина, О.И. Применение гибридного метода оценки функциональных рисков нарушения безопасности движения в хозяйстве пути на железнодорожном транспорте/О.И. Веревкина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. –2019. –№1(61). –С. 55–64.
7. Рябинин, И.А. Логико-вероятностные методы исследования структурно-сложных систем/ И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов. –М.: Радио и связь, 1981. –264 с.
8. Verevkiina O.I. Assessment of contribution of human factor and factors of material-technical supply to safety risks due to poor repair and technology //International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 760 (2020) 012-065 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/760/1/012065.
9. Веприяк, И.А. Анализ взаимосвязи количеств отклонений геометрии рельсовой колеи от норматива второй и третьей, четвертой степени / И.А. Веприяк, О.И. Веревкина, Г.Д. Седельников // Наука и техника транспорта. –2019. –№3. –С. 8–13.