

УДК 656.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0042

## ТЕХНОГЕННЫЙ ФАКТОР ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

© 2021

Сергеева Маргарита Дмитриевна, студент

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого*

*(195251, Россия, Санкт-Петербург, улица Политехническая, 29, e-mail: antonova.md@edu.spbstu.ru)*

**Аннотация.** Анализ риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера при железнодорожных перевозках является неотъемлемой составляющей обеспечения безопасности на железной дороге. Как при перевозке пассажиров, так и при транспортировании грузов известны масштабные аварии, повлекшие за собой большое количество пострадавших и погибших, крупный материальный ущерб экономике и окружающей среде. При анализе статистики аварий на железной дороге выяснилось, что почти в половине всех случаев именно техногенный фактор (потенциальная опасность объектов техносферы) лежит в основе возникновения аварии на железнодорожном транспорте. К проявлениям техногенного фактора относятся неисправности железнодорожного состава и его частей, неисправности железнодорожных путей, автоматических устройств сигнализации, централизации и блокировки, а также конструктивные недостатки искусственных сооружений – железнодорожных мостов, тоннелей, эстакад для слива и налива нефти и нефтепродуктов. В данной статье для совершенствования оценки риска аварии на железнодорожном транспорте создано уникальное дерево отказов, которое составляют события, представляющие собой воздействия техногенного фактора. Дерево отказов, содержащее совокупность событий, происходящих непосредственно во время движения поезда, позволяет учесть динамику движущегося железнодорожного состава.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, оценка риска, техногенный фактор, дерево отказов, авария.

## TECHNOGENIC FACTOR IN RISK ASSESSMENT IN RAILWAY TRANSPORT

© 2021

Sergeeva Margarita Dmitrievna, student

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

*(195251, Russia, Saint Petersburg, Politechnicheskaya Street, 29, e-mail: antonova.md@edu.spbstu.ru)*

**Abstract.** Analysis of the risk of man-made emergencies in railway transportation is an integral component of ensuring safety on the railway. Both during the transportation of passengers and during the transportation of goods, large-scale accidents are known, resulting in a large number of injured and dead, major material damage to the economy and the environment. When analyzing the statistics of accidents on the railway, it turned out that in almost half of all cases, it is the technogenic factor (the potential danger of technosphere objects) that underlies the occurrence of an accident on railway transport. The manifestations of the technogenic factor include malfunctions of the railway composition and its parts, malfunctions of railway tracks, automatic signaling devices, centralization and blocking, as well as structural deficiencies of artificial structures - railway bridges, tunnels, overpasses for draining and filling oil and petroleum products. In this article, to improve the assessment of the risk of an accident in railway transport, a unique tree of failures has been created, which consists of events representing the effects of a technogenic factor. The failure tree, which contains a set of events that occur directly during the movement of the train, allows you to take into account the dynamics of a moving train.

**Keywords:** railway transport, risk assessment, technogenic factor, failure tree, accident.

**Введение.** Железнодорожный транспорт – один из основных способов перевозки пассажиров и грузов в России. Особенность российской системы железнодорожного транспорта во многом обусловлена особым географическим положением страны. Например, Транссибирская магистраль является самой длинной железной дорогой в мире: ее протяженность составляет около 9300 км [1]. Однако железнодорожная инфраструктура постоянно совершенствуется и развивается: провозная способность Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей уже к 2025 г. должна достигнуть 180 млн тонн угля в год [2]. Несомненными преимуществами железнодорожного транспорта являются: возможность перевозки больших партий грузов на большие расстояния, практически полная независимость от метеоусловий, высокая пропускная способность, а также регулярность перевозок [3-5].

Железнодорожный транспорт можно назвать одним из самых безопасных видов транспорта. Однако и в данном секторе существует вероятность возникновения аварийных ситуаций, как при пассажирских, так и при грузовых перевозках [6-7]. В соответствии с Правилами перевозок опасных грузов по железным дорогам существует тринадцать видов опасных грузов, среди которых взрывчатые, легковоспламеняющиеся, ядовитые вещества [8]. В связи с этим при железнодорожной перевозке опасных грузов малейший инцидент может повлечь за собой крупную аварию на всем грузовом составе. Усугубляющим обстоятельством такой чрезвычайной ситуации может стать наличие населенных пунктов в непосредственной близости к железнодорожным путям, проезд состава через мост или тоннель. Так, через г. Саратов проходит железная дорога, постоянно обслуживающая железнодорожные

станции, оперирующие опасными грузами – нефтепродуктами [9].

В 1988 г. 16 августа в Калининской области произошла крупная железнодорожная авария: пассажирский поезд «Аврора» сошел с рельсов в результате движения по путям с многочисленными неисправностями в виде перекосов, просядок. В результате аварии с рельсов сошли все вагоны состава, 31 человек погиб, более 100 человек пострадали. Анализ железнодорожной аварии в Калининской области, а также других аварий, повлекших за собой крупный материальный ущерб, большое количество погибших и пострадавших, показывает, что при наложении друг на друга различных обстоятельств и причин техногенный фактор (потенциальная опасность объекта техносферы) играет основополагающую роль.

При разборе крупных железнодорожных аварий за последние три десятилетия выяснилось, что почти в половине случаев их причиной являлось воздействие техногенного фактора, то есть движущей силы техносферы, определяющей возможность как повышения, так и понижения уровня безопасности; такое воздействие связано с техническими средствами или технологическими процессами. При этом в оставшейся половине случаев масштабные аварии на железной дороге возникали под непосредственным влиянием человеческого фактора, то есть решений, принятых человеком. К проявлениям человеческого фактора относятся ошибки персонала, обслуживающего состав, машиниста поезда, дежурного по железнодорожному переезду, умышленные действия третьих лиц. Например, ДТП на переезде зачастую происходят из-за недисциплинированности водителей автотранспорта, в частности, при попытках проезда через железнодорожные пути на запрещающий сигнал, нередко в нетрезвом состоянии. Террористические акты также относятся к проявлению человеческого фактора и могут быть выделены в отдельную группу.

В данной статье будут рассмотрены аварии, происходящие под воздействием техногенного фактора, то есть связанные с технологическими процессами и объектами техносферы.

Помимо железнодорожных путей общего пользования, предназначенных для обслуживания пассажиров, существуют также пути необщего пользования, обслуживающие организации, предприятия на основании заключенного договора.

При этом даже железнодорожные пути, являющиеся частью опасных производственных объектов (ОПО), с 2013 г. сами по себе не классифицируются как ОПО [10]. Однако задача анализа техногенного риска таких объектов остается актуальной, пока существует железнодорожный транспорт.

**Целью** данной статьи является совершенствование методики оценки риска с учетом влияния техногенного фактора на возникновение и развитие аварии на железнодорожном транспорте. Аварии, связанные с железнодорожным транспортом, в настоящий момент рассматриваются только по приказу Ростехнадзора от 11 апреля 2016 года № 144, где рассматривается случай, когда железнодорожная цистерна находится в статичном положении, например, при переливе ее содержимого [11]. Но, зачастую, аварии возникают именно при движении состава. Очевидно, существующие методики оценки риска не позволяют учесть фактор движущегося железнодорожного состава, а также причины, приводящие к авариям, в частности, техногенный фактор [12, 13].

**Материалы и результаты исследования.** На этапе сбора сведений и идентификации опасностей были рассмотрены крупные железнодорожные аварии за последние три десятка лет. Из тридцати пяти рассмотренных аварий восемнадцать произошли по причине действия человеческого фактора, четырнадцать аварий по причине действия техногенного фактора, три аварии – в результате террористических актов (рис. 1).

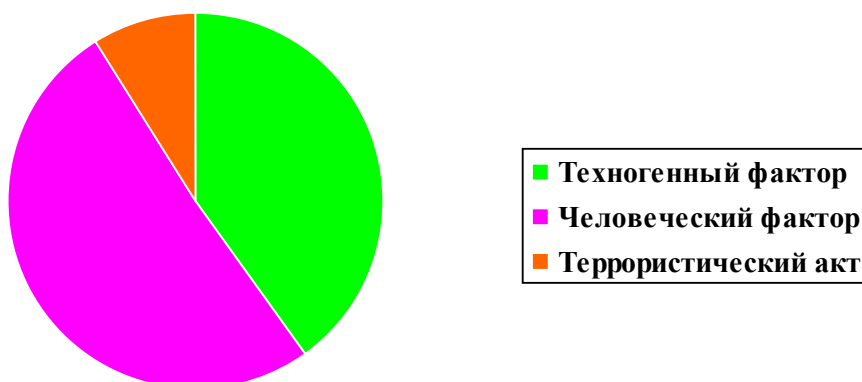


Рисунок 1 – Причины аварий на железнодорожном транспорте

Таким образом, в процентном соотношении аварии, возникшие в результате действия техногенного фактора, составляют 40% от общего числа аварий. Аварии, вызванные действием человеческого фактора, составляют 51% от общего числа аварий. Террористические акты являются причинами аварий на желез-

нодорожном транспорте в 9% всех случаев.

Основным этапом анализа риска аварии после идентификации опасностей является оценка риска аварии на ОПО [14-16]. Для оценки частоты иницирующих рекомендуется использовать логико-графические методы, например «Анализ деревьев отказов».

Указанный метод позволяет осуществить качественный и количественный анализ совокупности отказов технических устройств, инцидентов, ошибок персонала и внешних воздействий, приводящих к аварии [17-19].

В основе данного исследования лежит построение уникального дерева отказов для аварии на железнодорожном транспорте, совокупность отказов которой сводится к воздействию техногенного фактора. В рассматриваемом случае главным событием является авария на железнодорожном транспорте, возникающая под влиянием техногенного фактора.

Для построения дерева отказов при анализе открытой статистики были определены основные техноген-

ные воздействия, приводящие к авариям на железнодорожном транспорте (табл. 1).

Все техногенные воздействия были разделены на несколько основных групп: неисправности подвижного состава, путей, устройств СЦБ, а также аварии на искусственных сооружениях. Так, распространенной неисправностью подвижного состава является отказ тормозного оборудования, который возможен при износе или производственном браке тормозов. В 1987 г. 7 августа в г. Каменске-Шахтинском произошло столкновение грузового и пассажирского поездов из-за отказа тормозов у грузового поезда.

В результате аварии погибли 107 человек, 114 человек пострадали.

Таблица 1 –Техногенные воздействия, приводящие к аварии на железнодорожном транспорте

Техногенный фактор	
Неисправность подвижного состава	Отказ тормозного оборудования: в результате производственного брака тормозного оборудования или его износа при отсутствии контроля. Неисправности рам тележек вагонов: в результате производственного брака рамы тележки или повреждений вследствие коррозии при отсутствии необходимого обслуживания и контроля. Неисправности вагона: нарушение целостности вагона в процессе эксплуатации или производственный брак при отсутствии необходимого обслуживания и контроля.
Неисправность путей	Отказ стрелочного перевода: износ в процессе эксплуатации при отсутствии контроля, отказ автоматики. Размытие насыпи у железнодорожных путей (погодные условия). Выброс пути: воздействие сверхнормативных высоких температур, производственный брак при отсутствии контроля. Излом рельсов: износ при отсутствии контроля.
Неисправность устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)	Отказов одного или нескольких устройств СЦБ.
Аварии на искусственных сооружениях	Авария на мостовом сооружении. Авария в тоннеле. Авария при погрузочно-разгрузочных мероприятиях: неправильное выполнение сливноналивных операций, разгерметизация вагонов с опасными веществами.

Металлические рамы тележек вагонов подвержены коррозии, в результате которой могут образоваться изломы и трещины; при отсутствии контроля могут возникнуть значительные повреждения.

Для исключения нарушения целостности вагона железнодорожного состава также необходим своевременный контроль: в процессе эксплуатации могут образоваться трещины в котле или шве, вмятины, обрыв хомута и другие неисправности.

При эксплуатации железнодорожных стрелочных переводов возможны отказы по причине износа, например, перегорание предохранителей или излом арматуры.

В случае, если стрелочный перевод автоматический, а не ручной, возможен отказ автоматики.

Насыпи у железнодорожных путей могут быть подвержены размытию при неблагоприятных погодных условиях (сильный дождь).

Выброс пути может возникнуть по причине воздействия сверхнормативных высоких температур, из-за которых в рельсах возникают температурные напряжения, способствующие расширению металла. Производственный брак рельсов при отсутствии контроля также может стать причиной выброса пути и последующей аварии. Излом рельсов возможен при их износе.

Неисправности устройств СЦБ составляют целый комплекс причин, подразумевающих рассмотрение одного или сразу нескольких отказов таких автоматических устройств как светофоры, релейные шкафы, трансформаторы, пульта, табло, аккумуляторы и т. д.

Состояние искусственных сооружений, например мостов и тоннелей, может стать причиной аварии на железнодорожном транспорте. Так, при проезде железнодорожного состава через мост может возникнуть перегрузка, приводящая к разрушению моста; способствовать разрушению мостовых конструкций могут ошибки при проектировании, дефекты строительства, а также природные условия – подтопления, размыывы. Природные условия могут приводить также к размыыву железнодорожных тоннелей.

При погрузочно-разгрузочных мероприятиях причинами аварии могут стать износ применяемого оборудования, например устройств налива.

На основе проведенного исследования было построено дерево отказов (рис. 2).

Вершина дерева отказов – главное событие, которое соединяется с совокупностью нижестоящих событий – отказами, образующими сценарии аварии. После построения дерева отказов следующим этапом является нахождение соответствующих вероятностей конечных событий [20].

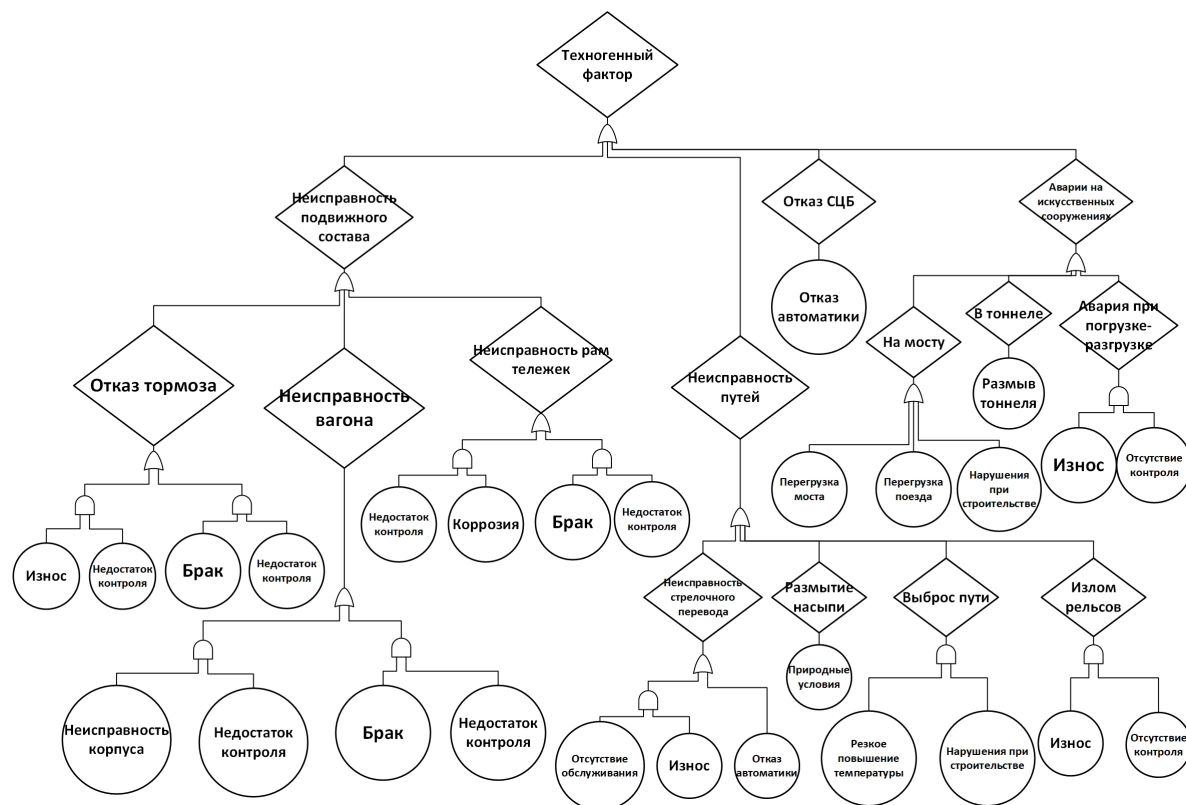


Рисунок 2 – Дерево отказов для инициирующего события «крушение железнодорожного состава», в части техногенного фактора

**Заключение.** Таким образом, при проведении данного исследования была усовершенствована методика анализа риска аварии на железнодорожном транспорте путем создания дерева отказов, позволяющего оценить вероятность возникновения аварии главным образом из-за влияния техногенного фактора. При этом у данного способа оценки риска в перспективе имеется множество путей развития, в первую очередь, дерево отказов можно усложнить путём включения более конкретных технических причин аварии, установить дополнительные связи событий. Так, отказ СЦБ может состоять из возможности отказа любого автоматического элемента как самостоятельно, так и в совокупности с другими элементами. Создание дерева отказов, включающего техногенный и человеческий факторы, в том числе теракт, способствующие возникновению аварии на железнодорожном транспорте, является основой для магистерской диссертации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ханина А.В., Глинский В.А. Способы увеличения пропускной способности Транссибирской магистрали // Развитие теории и практики автомобильных перевозок, транспортной логистики: сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2017. – С. 231-238.
2. Пухова Е.В., Морозова Е.Н. Анализ реализации прогнозных рисков при осуществлении инфраструктурного проекта на железнодорожном транспорте // Транспортное дело России. – Москва: ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», 2019. – С. 228-230.
3. Брашко И.С., Самуйлов В.М. Преимущества и недостатки перевозки грузов железнодорожным транспортом // Проблемы организации и управления на транспорте: сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и их научных руководителей. – Екатеринбург:

Уральский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 35-39.

4. Цыганов А.В., Кузьменко П.Ю. К вопросу о преимуществах железнодорожных перевозок автомобильного транспорта // Аллея науки. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2018. – С. 279-283.

5. Инкина С.А., Бадараева Р.В. Железнодорожные грузоперевозки: преимущества и недостатки // Вестник магистратуры. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2019. – С. 12-14.

6. Корниенко Д.В. Техногенные катастрофы периода перестройки и их влияние на СССР // АЛЛЕЯ НАУКИ. – Тула: Тульский государственный педагогический университет имени Л. Н. Толстого, 2017. – С. 738-740.

7. Наперов В.В. Вопросы организации перевозок грузов повышенной опасности железнодорожным транспортом // Приоритетные направления развития образования и науки: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2017. – С. 192-194.

8. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам, Протокол Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 05.04.1996 №15 [Электронный ресурс] – Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902165571>

9. Гарибов Р.Б., Грибанова Н.Ф., Снарский С.В., Баширзаде Р.Р. Анализ риска аварий при перевозке химически опасных веществ железнодорожным транспортом // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 289-296.

10. Письмо Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 сентября 2013 года N 00-04-05/1541 «О Разъяснениях по вопросам идентификации в классификации участков транспортирования опасных веществ» [Электронный ресурс] – ГАРАНТ.РУ. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70372472/>

11. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 года N 144 Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» [Элек-



тронный ресурс] – Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420347908>

12. Антонова М.Д. Проблематика оценки риска аварий, связанных с разрушением железнодорожных составов на опасных производственных объектах // Неделя науки ИСИ. – СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2021. – С. 112-114.

13. Бызов А.П., Тихонкова Е.С. Оценка техногенного риска для опасных производственных объектов транспортирования опасных веществ // Неделя науки СПбПУ. – СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 207-209.

14. Медведев В.И., Ощепков З.П., Рублев М.Г. Анализ защищенности критически важных объектов железнодорожного транспорта и обеспечение безопасности персонала // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. – С. 33-39.

15. Спешилова С. А. Оценка устойчивости функционирования железнодорожной станции при возникновении чрезвычайной ситуации // Архивариус. – Иркутск: ФГБОУ ВО ИРГУПС Иркутского государственного университета путей сообщения, 2017. – С. 66-71.

16. Смолкин И.С., Руш Е.А. Сравнительный анализ методов оценки риска аварий и идентификации опасностей // Образование - Наука - Производство. – Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения, 2018. С. – 154-160.

17. Федосов А.В., Ахметова Д.Д., Галеева А.Ф. Количественный анализ риска на опасном производственном объекте // Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016. – С. 184-187.

18. Зыков А.П., Квашнин Д.Г., Борно О.И., Чуркин А.А. Проблемы идентификации опасных производственных объектов, связанных с транспортировкой опасных веществ железнодорожным транспортом // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. – С. 549-560.

19. Коробкова А.Г., Котов Д.Ю. Идентификация опасностей, оценка и управление рисками // Актуальные вопросы науки и техники. – Воронеж: Филиал РГУПС в г. Воронеж, 2018. – С. 55-61.

20. Раутлехт С.А., Фомин А.В. Обоснование применения вероятностных методов оценки показателей риска // Неделя науки СПбПУ. – СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – С. 176.

*Статья поступила в редакцию 10.11.2021*

*Статья принята к публикации 07.12.2021*