

*В. Л. Шаповалов, П. В. Харламов, А. Г. Кочур*

## АНАЛИЗ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

**Аннотация.** Выполнен анализ воздействий природного и техногенного характера, а также воздействий, вызванных злонамеренными и военными действиями, на искусственные сооружения железнодорожного транспорта. Одним из таких сооружений наиболее, подверженных внешним воздействиям, являются мостовые сооружения через водные преграды. Рассмотрено множество воздействий различной природы, оценены наиболее значимые с точки зрения вероятности их возникновения и способности привести к полному отказу искусственных сооружений. Определены вероятные виды разрушений и применяемые виды восстановительных работ. Предложены несколько видов сценариев развития ситуации при половодье, паводке, подтоплении, наводнении и подрыве конструкции.

**Ключевые слова:** искусственные сооружения, мосты, разрушения, воздействия, восстановление.

**Для цитирования:** Шаповалов, В. Л. Анализ сценариев развития ситуации при различных воздействиях на искусственные сооружения железных дорог / В. Л. Шаповалов, П. В. Харламов, А. Г. Кочур // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 209–223. – DOI 10.46973/0201-727X\_2023\_1\_209.

### *Введение*

Железнодорожный транспорт является одним из ключевых элементов экономического развития Российской Федерации. На его долю приходится большая часть перевозки грузов (в мирное время – более 70 % грузопассажирских перевозок, в военное время – более 80 %). В современных условиях возросла его значимость по перевозке пассажиров в регионах, где ограничено действие воздушного транспорта. С точки зрения обороноспособности также ключевым видом транспорта для оперативной переброски ресурсов является железнодорожный транспорт, способный справляться с большими объемами перевозок на большие расстояния. Поскольку железнодорожный транспорт обеспечивает большие объемы перевозок на значительные расстояния, имеет достаточно протяженную и разветвленную сеть с большим количеством сложных инженерных объектов, таких как мосты и тоннели, он достаточно сильно уязвим перед стихийными внешними воздействиями природного и техногенного характера в мирное и военное время.

В мирное время основную опасность представляют воздействия природного и техногенного характера. В работах зарубежных авторов отмечается, что оползни, проливные дожди и наводнения оказывают наибольшее влияние на функционирование любой наземной транспортной инфраструктуры. При этом установлено, что наиболее вероятными потенциально критическими элементами инфраструктуры являются развязки автомагистралей, автобусные и железнодорожные станции, мосты и тоннели. Например, тоннели и мосты являются наиболее сложными элементами дорожной инфраструктуры и вывод из их строя приведет к нарушению работы всего участка дороги на длительный период времени. Техническая сложность восстановления таких объектов, временные и финансовые ограничения, намного выше, чем в случае восстановления линейных участков автомобильных и железных дорог, где нет мостов и тоннелей. Поэтому эти элементы рассматриваются в некоторых странах как потенциальные элементы критической инфраструктуры.

Зарубежные организации для исследования угроз критически важных элементов транспортной инфраструктуры и оценки рисков используют международный стандарт ISO 31000 [1], в котором содержится информация об идентификации источников риска и последующий анализ рисков. Отечественным аналогом являются национальные стандарты ГОСТ 33433-2015 и ГОСТ Р ИСО 31000-2019 [2, 3].

Последствия, возникающие на сети железных дорог Российской Федерации, вызванные такого рода воздействиями, требуют незамедлительного реагирования всех причастных служб и подразделений для организации восстановительных работ с привлечением людских, материальных и технических

ресурсов. Наибольшую проблему вызывают разрушения сложных инженерных конструкций больших и средних мостов, эстакад, тоннелей или иных объектов, расположенных в труднодоступных местах.

Обеспечение устойчивого функционирования железных дорог в мирное и военное время возлагается на Министерство транспорта, Федеральное агентство железнодорожного транспорта (Росжелдор), ОАО «РЖД» (РЖДстрой, Росжелдорпроект), Министерство обороны (Железнодорожные войска). В период проведения военных действий оборот грузов железнодорожным транспортом возрастет в значительной степени, что повышает значимость железнодорожных войск (ЖДВ) Министерства обороны в системе транспортного обеспечения государства.

### *Стихийные бедствия природного характера*

Одним из видов воздействий, оказывающих влияние на работу искусственных сооружений, являются воздействия природного характера, которые могут стать причиной разрушения объектов транспортной инфраструктуры и привести к остановке движения. Поскольку воздействиям могут подвергаться в том числе средние, большие и внеклассные мосты и тоннели, нарушение их работы может привести к длительным перерывам движения и является негативным событием во многих сферах деятельности.

Согласно [4], опасные природные явления разделяются на метеорологические, агрометеорологические, гидрологические, морские гидрометеорологические, гелиогеофизические. В каждую группу входят различные явления, в общей сложности их насчитывается 55. Из общего перечня можно выделить те, которые могут оказывать влияние на функционирование искусственных сооружений и привести к частичному или полному отказу сооружения. В табл. 1 представлены 18 видов опасных явлений.

Таблица 1

### Виды опасных явлений, способных влиять на функционирование искусственных сооружений

№ п/п	Группа опасных явлений	Опасное явление
1	<b>Метеорологические</b>	Очень сильный ветер
2		Ураганный ветер (ураган)
3		Шквал
4		Смерч
5		Сильный ливень
6		Очень сильный дождь (очень сильный дождь со снегом, очень сильный мокрый снег, очень сильный снег с дождем)
7		Очень сильный снег
8		Продолжительный сильный дождь
9		Сильное гололедно-изморозевое отложение
10		Сход снежных лавин
11	<b>Гидрологические</b>	Половодье
12		Зажор
13		Затор
14		Паводок
15		Сель
16	<b>Морские гидрометеорологические</b>	Цунами
17		Очень сильный ветер
18		Ураганный ветер (ураган)

В этот перечень не вошли, например, сейсмические воздействия и таяние вечной мерзлоты, которые также могут стать причиной разрушения искусственных сооружений.

В приложении В (таблица В.1) [5] приведены зарегистрированные проявления опасных геологических процессов на территориях субъектов Российской Федерации. К опасным геологическим процессам в документе отнесены оползни, обвалы, сели, лавины, карст, подтопление, переработка берега, пучения, наледообразования, термокарст и затопление. Из этих процессов в качестве воздействий, приводящих к нарушению работы искусственных сооружений, можно отнести почти все явления за исключением пучения и наледообразования. В табл. 2 приведены данные о распределении зарегистрированных случаев опасных геологических процессов в регионах России.

Таблица 2

## Распределение геологических опасностей по регионам

№ п/п	Вид опасного геологического процесса	Количество регионов с зарегистрированным явлением, шт.	Доля регионов из общего количества с зарегистрированным явлением, %
1	Оползни	61	77,2
2	Обвалы	14	17,7
3	Сели	10	12,7
4	Лавины	4	8,9
5	Карст	63	79,7
6	Подтопление	78	98,7
7	Переработка берега	37	43
8	Термокарст	9	11,4
9	Затопление	25	31,6

Из табл. 2 видно, что наиболее распространенным геологическим процессом в территориальном плане является подтопление. Также распространены оползни и карсты, наименьшее распространение получили лавины и термокарсты.

На основе анализа литературы можно отметить, что наиболее частыми опасными явлениями природного характера являются наводнения, ураганы, бури, тайфуны, смерчи, сильные или особо длительные дожди, землетрясения, сильные снегопады и метели, оползни и обвалы. В табл. 3 приведено распределение опасных явлений в процентном соотношении.

Таблица 3

## Распределение опасных природных явлений по видам

№ п/п	Виды опасных природных явлений	Количество зарегистрированных случаев по отношению к общему числу опасных природных явлений, %				
		Усредненные данные из интернет-источников	За 2006 г. [6]	В период с 2002 по 2007 г. [7]	Государственный доклад, 2020 г., среднее значение за 2019–2020 гг.	Среднее по рассмотренным источникам
1	Наводнения	34	44	36	27	35
2	Ураганы, бури, тайфуны, смерчи	19	–	13	13	15
3	Сильные или особо длительные дожди	14	–	–	5	10
4	Землетрясения	8	6	13	1	7
5	Сильные снегопады и метели	8	–	13	5	9
6	Оползни и обвалы	5	–	–	1	3

Вышеприведенные данные дают возможность определить те опасности, которые имеют небольшую вероятность проявления, что позволит учитывать уязвимость инженерных сооружений перед вероятными воздействиями с учетом их повторяемости.

В табл. 4 приведены данные из ежегодных отчетов МЧС России о случаях ЧС природного характера на территории Российской Федерации [9–12], к которым отнесены землетрясения, извержения вулканов, опасные геологические явления (оползни, сели, обвалы, осыпи), бури, ураганы, смерчи,

шквалы, сильный дождь, сильный снегопад, крупный град, снежные лавины, заморозки, засуха, морские опасные гидрологические явления (сильное волнение, напор льдов, обледенение судов), отрыв прибрежных льдов, опасные гидрологические явления и крупные природные пожары.

Таблица 4

#### Чрезвычайные ситуации природного характера по виду источников возникновения

Чрезвычайные ситуации природного характера по виду источников возникновения	Год								
	2021	2020	2019	2018	2021	2020	2019	2018	Среднее
	Количество зарегистрированных случаев, шт.				Доля зарегистрированных случаев из общего количества, %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Землетрясения, извержения вулканов	0	2	0	0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,5
Опасные геологические явления (оползни, сели, обвалы, осыпи)	2	1	2	0	1,8	1,0	4,1	0,0	1,7
Бури, ураганы, смерчи, шквалы	27	20	2	1	24,5	19,2	4,1	2,3	12,5
Сильный дождь, сильный снегопад, крупный град	10	6	9	11	9,1	5,8	18,4	25,0	14,6
Снежные лавины	3	0	1	0	2,7	0,0	2,0	0,0	1,2
Заморозки, засуха	14	13	12	14	12,7	12,5	24,5	31,8	20,4
Морские опасные гидрологические явления (сильное волнение, напор льдов, обледенение судов)	0	7	0	0	0,0	6,7	0,0	0,0	1,7
Отрыв прибрежных льдов	2	1	0	1	1,8	1,0	0,0	2,3	1,3
Опасные гидрологические явления	28	29	17	12	25,5	27,9	34,7	27,3	28,8
Крупные природные пожары	24	25	6	5	21,8	24,0	12,2	11,4	17,4
Всего	110	104	49	44	100,0	100,0	100,0	100,0	

На диаграмме, приведенной на рис. 1, показано распределение зарегистрированных случаев в долях от общего количества, усредненного за четырехлетний период.

Из диаграммы видно, что наиболее часто зарегистрированным явлением за последние четыре года можно считать опасные гидрологические явления.

Результаты данного раздела использованы для формирования общей схемы, описывающей взаимосвязь воздействий и их последствий с учетом вероятности их возникновения и разрушающей способности искусственных сооружений.

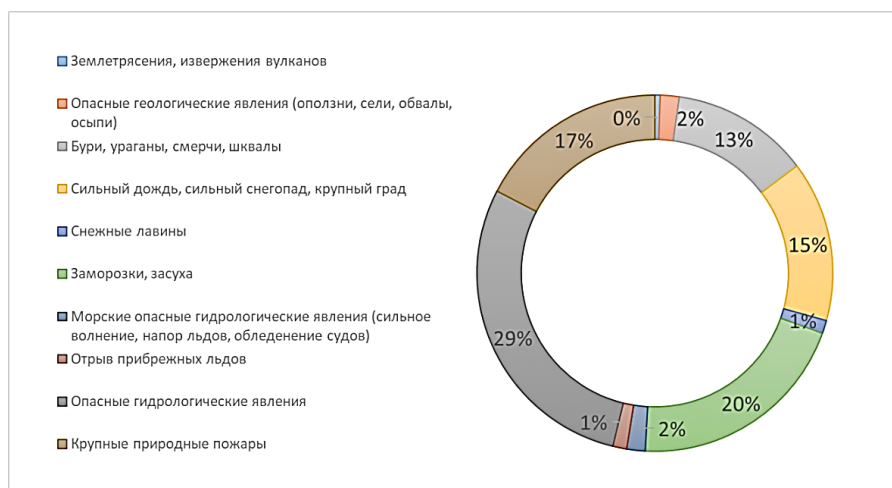


Рис. 1. Распределение зарегистрированных случаев ЧС в долях от общего количества

### *Стихийные бедствия техногенного характера*

Еще одним из видов воздействий, оказывающих негативное влияние на безотказную работу искусственных сооружений, являются воздействия техногенного характера. К стихийным бедствиям техногенного характера можно отнести деформации, повреждения и разрушения мостовых сооружений, наступившие в результате следующих причин:

а) ошибки при разработке проектов производства работ и технологических схем – неточности в расчетах, некачественный выбор (подбор) конструктивных решений и строительных материалов, приводящий к потере несущей способности и устойчивости конструктивных элементов, недоучет ветровой нагрузки и аэродинамической устойчивости, приводящий к опрокидыванию высоких опор и т.п.;

б) отступления от проекта производства работ и грубые нарушения технологических процессов строительства – использование некачественных или не предусмотренных проектом строительных материалов, отступления от утвержденных конструктивно-технологических решений, отсутствие строительного надзора и т.п.;

в) отсутствие должного технического обслуживания и мониторинга за состоянием искусственных сооружений, приводящее к появлению и развитию дефектов в конструктивных элементах искусственных сооружений;

г) нарушение безопасности движения (халатность) – повреждения в результате схода подвижного состава, повреждения конструктивных элементов при несоблюдении установленных габаритов перевозимых грузов или транспортных средств, повреждения мостов в результате таранных воздействий (навала) речных судов на опоры, перегрузка несущих конструкций подвижной нагрузкой, повреждения в результате аварий трубопроводов, проложенных под железнодорожными путями вблизи мостовых опор, а также нецелевое использование подмостового пространства (гаражи, торговые точки, склады, автостоянки) при их расположении под мостами и путепроводами, приводящее к нарушению габарита подмостового пространства, пожарам, взрывам и пр.

Следует отметить, что статистическая информация о произошедших авариях на железнодорожных мостах в официальных источниках в открытом доступе ограничена или отсутствует. Однако некоторые интернет-издания публикуют такую информацию с указанием возможных причин наступления аварий. Например, на ресурсе LiveJournal со ссылкой на сайт <http://www.bridgeart.ru> [8] опубликована некоторая статистика аварий мостов в России и СНГ за пять лет. Указывается, что к пяти основным причинам аварий мостов относятся (терминология сохранена):

а) снижение грузоподъемности из-за отсутствия надлежащего содержания (мост может упасть как от собственного веса (15 случаев), так и после проезда большегруза (8 случаев) – 33,8 %;

б) нерасчетный паводок либо просчеты в гидрологии и геологии (14 случаев) – 20,6 %;

в) въезд тяжелых грузовиков в опоры или движение самосвалов с поднятым кузовом (в основном пешеходные мосты) 9 случаев – 13,2 %;

г) нарушение технологии производства работ или проекта производства работ (8 случаев) – 11,8 %;

д) превышение проектной грузоподъемности старых мостов и ошибки проектирования новых (по 4 случая) – 5,9 %.

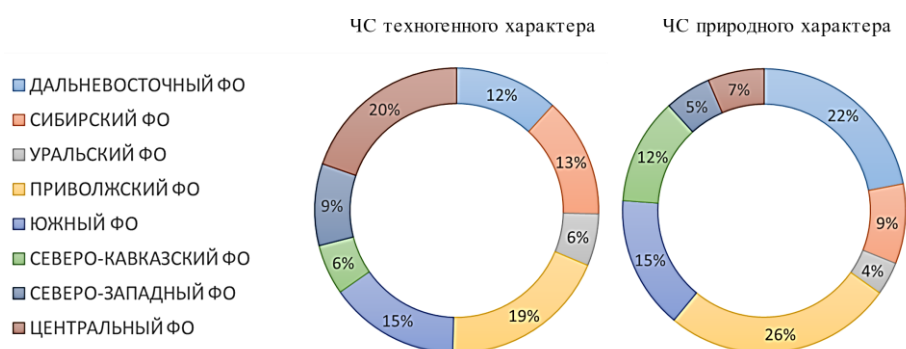
Средние значения зарегистрированных случаев ЧС по федеральным округам, усредненные за 2019–2021 гг. приведены в табл. 5, где показано распределение по количеству случаев и в долях от общего количества.

Таблица 5

### Распределение зарегистрированных случаев ЧС по федеральным округам

Федеральный округ	Техногенные ЧС, ед.	Природные ЧС, ед.	Доля техногенных ЧС, %	Доля природных ЧС, %
Дальневосточный	22,0	19,3	11,8	22,1
Сибирский	25,3	8,0	13,6	9,1
Уральский	11,0	3,3	5,9	3,8
Приволжский	35,7	23,0	19,1	26,2
Южный	27,7	13,3	14,8	15,2
Северо-Кавказский	10,7	10,7	5,7	12,2
Северо-Западный	17,3	4,7	9,3	5,3
Центральный	36,7	5,7	19,7	6,5
<i>Итого</i>	186,3	87,7	100,0	100,0

Данные из табл. 5 представлены в виде диаграмм на рис. 2, где показано распределение зарегистрированных случаев ЧС техногенного и природного характера по федеральным округам.



**Рис. 2. Распределение зарегистрированных случаев ЧС техногенного и природного характера по федеральным округам**

Основываясь на полученных данных, можно утверждать, что наиболее вероятными событиями вследствие природных ЧС будут являться события, связанные с опасными гидрологическими явлениями (29 % от общего количества зарегистрированных случаев), которые будут в большей степени оказывать воздействие на водопропускные сооружения и объекты железнодорожной инфраструктуры, находящиеся в непосредственной близости от источника опасности. При этом наибольшее количество природных ЧС регистрируется в Приволжском и Дальневосточном федеральных округах. В общей сложности на эти регионы приходится почти половина случаев ЧС природного характера (48,3 %). Таким образом, при планировании аварийно-восстановительного запаса нужно обращать внимание на распределение случаев ЧС по регионам, что позволит оптимизировать расположение баз хранения и объемы запасов средств на них, а при необходимости проведения восстановительных мероприятий сократить время на доставку элементов конструкций и необходимых материалов.

#### **Злонамеренные действия (акт незаконного вмешательства)**

В соответствии с ФЗ N16 от 09.02.2007 (подготовлена ред. от 14.03.2022) «О транспортной безопасности» акт незаконного вмешательства (АНВ) – это противоправное действие (бездействие), в том числе террористический акт, угрожающее безопасной деятельности транспортного комплекса, повлекшее за собой причинение вреда жизни и здоровью людей, материальный ущерб либо создавшее угрозу наступления таких последствий. Искусственные сооружения (железнодорожные мосты, а именно их опоры, устои, пролетные строения, материалы верхнего строения пути, здания и сооружения охраны и

обслуживающего персонала, путепроводы, эстакады, селеспуски, тоннели) относятся к третьей группе объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ), для которых выполняется оценка уязвимости и категорирование. В соответствии с Приказом Минтранса РФ N 52, ФСБ РФ N 112, МВД РФ N 134 от 05.03.2010 «Об утверждении Перечня потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств» установлены следующие виды угроз: угроза захвата, угроза взрыва, угроза размещения или попытки размещения на ОТИ и/или транспортных средствах (ТС) взрывных устройств (взрывчатых веществ), угроза поражения опасными веществами, угроза захвата критического элемента ОТИ и/или ТС, угроза взрыва критического элемента ОТИ и/или ТС, угроза размещения или попытки размещения на критическом элементе ОТИ и/или ТС взрывных устройств (взрывчатых веществ), угроза блокирования, угроза хищения.

Основными нормативно-правовыми актами, регламентирующими работу в области транспортной безопасности, в настоящее время являются:

а) Федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» – устанавливает понятие транспортной безопасности, ответственность субъекта транспортной инфраструктуры за обеспечение транспортной безопасности ОТИ и ТС;

б) Указ Президента РФ от 31.03.2010 № 403 «О создании комплексной системы обеспечения безопасности населения на транспорте» – устанавливает ответственность Минтранса России за создание комплексной системы обеспечения безопасности населения на транспорте и сроки обеспечения защиты критически важных ОТИ;

в) постановление Правительства РФ от 29.12.2020 N 2344 «Об уровнях безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств и о порядке их объявления (установления)» – устанавливает три уровня безопасности ОТИ, по умолчанию всегда действует 1-й уровень, 2-й и 3-й уровни объявляются при повышенных угрозах;

г) постановление Правительства РФ от 31.03.2009 № 289 (ред. от 15.09.2020) «Об утверждении Правил аккредитации юридических лиц для проведения оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств» – определяет, каким образом проводится оценка уязвимости ОТИ при аккредитации специализированными организациями;

д) приказ Минтранса России от 15.09.2020 N 377 «Об утверждении Порядка ведения реестра объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств» (зарегистрирован в Минюсте России 09.11.2020 N 60800) – регламентирует запись об ОТИ в реестр по указанию компетентного органа, в который направляются данные об объекте. Последний принимает решение о включении ОТИ в реестр и присваивает соответствующую категорию (по методике категорирования). Далее субъекту транспортной инфраструктуры и в Ространснадзор направляется уведомление о включении категорированного объекта или ТС в реестр;

е) приказ Минтранса России от 02.07.2021 N 225 «Об утверждении Порядка разработки планов обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и (или) судов ледокольного флота, используемых для проводки по морским путям, судов, в отношении которых применяются правила торгового мореплавания и требования в области охраны судов и портовых средств, установленные международными договорами Российской Федерации» (зарегистрирован в Минюсте России 11.10.2021 N 65374) – устанавливает, что план обеспечения транспортной безопасности ОТИ разрабатывается субъектом на основании результатов оценки уязвимости ОТИ. В приказе определены содержание плана обеспечения транспортной безопасности, порядок его направления в компетентный орган управления транспортной безопасности и срок ответа управления транспортной безопасности субъекту;

ж) приказ Минтранса России, ФСБ России, МВД России от 05.03.2010 № 52/112/134 «Об утверждении перечня потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств» – определяет обобщенный перечень угроз для формирования модели нарушителя в концепции обеспечения транспортной безопасности;

и) приказ Минтранса России от 01.11.2021 N 370 «О Порядке проведения оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры, судов ледокольного флота, используемых для проводки по морским путям, судов, в отношении которых применяются правила торгового мореплавания и требования в области охраны судов и портовых средств, установленные международными договорами Российской Федерации» (зарегистрирован в Минюсте России 30.11.2021 N 66134) – устанавливает порядок проведения оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры;

к) постановление Правительства РФ от 03.10.2020 N 1595 «Об утверждении Правил категорирования и установления количества категорий объектов транспортной инфраструктуры» – устанавливает основные правила категорирования ОТИ;

л) распоряжение Минтранса России от 10.06.2005 № ИЛ-62-р «О мерах по обеспечению защищенности опасных и критически важных для национальной безопасности объектов транспортного комплекса России от террористических проявлений и угроз техногенного характера» – поручает уполномоченным организациям создание перечня критически важных ОТИ и подготовку методики категорирования и оценки уязвимости;

м) распоряжение Правительства РФ от 05.11.2009 № 1653-р (ред. от 03.02.2020) «Об утверждении перечня работ, непосредственно связанных с обеспечением транспортной безопасности» – устанавливает перечень работ по объектам транспортной безопасности и ОТИ, включая аккредитацию, категорирование, оценку уязвимости, разработку планов безопасности, контроль и надзор, формирование и введение автоматизированной централизованной базы персональных данных о пассажирах.

В соответствии с представленной нормативной документацией можно выделить угрозы, характерные для них примеры АНВ (табл. 6) и характер разрушений при совершении актов незаконного вмешательства (табл. 7).

Таблица 6

### Угрозы и характерные для них примеры АНВ

Угроза для ОТИ	Характерный пример АНВ
Размещение или попытка размещения взрывного устройства	Размещение нарушителем взрывного устройства на верхнем строении железнодорожного пути на мосту
Взрыв (обстрел) критического элемента ОТИ	Обстрел из гранатомета опоры железнодорожного моста
Размещение или попытка размещения на критическом элементе ОТИ взрывных устройств	Размещение нарушителем взрывного устройства под опорой железнодорожного моста

Таблица 7

### Характер разрушений при совершении АНВ

ИССО	Характер разрушений
Верхнее строение пути	Вывод из строя верхнего строения пути путем размещения взрывного устройства. Частичная разборка верхнего строения пути
Деревянные низководные мосты	Разрушаются опоры (чем ниже источник взрыва, тем хуже) и пролетные строения (перебиваются, по меньшей мере в одном сечении, основные несущие элементы). Для многопролетных низководных мостов наиболее вероятные места разрушений – береговые и промежуточные опоры, а также пролетные строения
Деревянные высоководные мосты	Наиболее вероятным местом разрушений являются места над опорами. Характер разрушений – повреждение концевых частей пролетных строений и верхних частей опор
Металлические мосты с пролетом до 10 м	Наиболее вероятным местом разрушений являются опоры
Металлические мосты с ездой понизу (поверху) с пролетом от 10 до 25 м	Наиболее вероятные места разрушений – перебивание нижних (верхних) главных ферм в середине пролета (как наиболее доступные места для совершения АНВ) и береговые опоры. Менее вероятные места разрушения – промежуточные опоры (быки) в произвольном сечении
Металлические мосты (разрезной конструкции) с пролетом более 25 м	Наиболее вероятные места разрушений – перебивание нижних (верхних) главных ферм в середине пролета (как наиболее доступные места для совершения АНВ), береговые опоры и верхние части быков. Менее вероятные места разрушения – нижняя часть быков (около уровня воды или под водой) в произвольном сечении

Окончание табл. 7

ИССО	Характер разрушений
Металлические мосты (неразрезной конструкции) с пролетом более 25 м	Наиболее вероятные места разрушений – перебивание поясов ферм (как наиболее доступные места для совершения АНВ), береговые опоры и верхние части быков. Менее вероятные места разрушения – нижняя часть быков (около уровня воды или под водой) в произвольном сечении
Висячие металлические мосты	Наиболее вероятные места разрушений – пилоны, узлы крепления (якорения) и пролетные строения с обрушением по оси моста. Менее вероятные места разрушения – подвесные пояса или ванты, состоящие из стальных тросов, цепей или полос
Вантовые мосты	Наиболее вероятные места разрушений – балка жесткости, узлы крепления (якорения) вант и пролетные строения с обрушением по оси моста. Менее вероятные места разрушения – подвесные пояса или ванты, состоящие из стальных тросов, цепей или полос
Металлический путепровод	Наиболее вероятные места разрушений – пролетные строения, устои и стойки промежуточных опор
Балочные железобетонные мосты разрезной и неразрезной конструкции	Наиболее вероятные места разрушений – пролетные строения, устои. Менее вероятные места разрушения – нижняя часть промежуточных опор (около уровня воды или под водой) в произвольном сечении
Арочные мосты	Наиболее вероятные места разрушений – пролетные строения, устои. Менее вероятные места разрушения – нижняя часть промежуточных опор (около уровня воды или под водой)
Железобетонный путепровод рамной конструкции	Наиболее вероятные места разрушений – пролетные строения, устои и стойки. Общий характер разрушений при неблагоприятном исходе АНВ – направленное обрушение конструкции моста
Виадук	Наиболее вероятные места разрушений – верхнее строение и опоры
Тоннель	Наиболее вероятные места разрушений – верхнее строение пути, завал входного/выходного портала, обрушения в средней части тоннеля
Труба	Наиболее вероятные места разрушений – входное/выходное отверстие трубы, верхний свод

### **Военные действия**

Во время боевых действий искусственные сооружения получают либо полные, либо частичные разрушения в зависимости от поставленных боевых задач. Данные задачи могут быть выполнены методом подрыва конструкций (в том числе и с воды), артиллерийскими ударами, ракетно-бомбовыми ударами, высокоточным оружием разного класса, ядерным оружием малой мощности. Однако, независимо от выбранного метода воздействия для выполнения поставленной задачи, в зависимости от конструктивных особенностей искусственных сооружений для целеуказаний выбираются самые уязвимые конструктивные точки.

Так, например, для разрушения металлических мостов обычно подрываются или пролетные строения, или только опоры, а иногда пролетные строения и опоры одновременно. При разрушении опор однопролетного моста возможен случай подрыва только одной опоры и обрушение пролетного строения одним концом или же подрыв обоих устоев и полное обрушение пролетного строения. В многопролетных мостах обычно подрываются быки, так как подрывание быка влечет за собой одновременно обрушение двух смежных пролетных строений.

Деревянные мосты могут разрушаться: сжиганием, подрыванием и механическими средствами (перепиливанием свай или прогонов, тракторами, танками и др., путем захвата тросом за отдельные части моста и стаскивания их).

Разрушение труб производится или под сводом (при отверстии трубы до 2 м) или над трубой (при отверстии более 2 м). Разрушение земляного полотна производится преимущественно на участках, которые являются наиболее трудными для восстановления: высокие насыпи; насыпи на подходах к искусственным сооружениям; насыпи, расположенные в болотистой местности; глубокие и сырые

выемки; земляное полотно на переездах преимущественно в разных уровнях. Основными способами разрушения земляного полотна являются подрывание, перекапывание, завал и размыв.

### ***Воздействия и их последствия***

Для определения взаимосвязи видов воздействий с вероятными разрушениями из всего многообразия рассмотренных воздействий на искусственные сооружения природного и техногенного характера среди воздействий при незаконном вмешательстве и в результате военных действий выделены те, которые представляют наибольшую опасность с точки зрения вероятности их возникновения и значимости возможных разрушений. В результате определены восемь наиболее опасных воздействий, таких как половодье, паводок, подтопление, наводнение, сель, оползни, землетрясения, перегрузка несущих конструкций подвижной нагрузкой, таранные воздействия (навал) речных судов, подрыв конструкции, появление и развитие дефектов в конструктивных элементах (прогрессирующее разрушение). Рассмотренные воздействия могут приводить к различным разрушениям. При этом разные воздействия могут приводить к сходным разрушениям. Сопоставление видов разрушений с воздействиями приведено на рис. 3.

ВОЗДЕЙСТВИЯ	ВЕРОЯТНЫЕ РАЗРУШЕНИЯ	№ ВОЗДЕЙСТВИЯ
1. Половодье, паводок, подтопление, наводнение	Размыв грунтов и потеря несущей способности (основание, земляное полотно)	1, 2
2. Сель	Разрушение берегов и русла	1-4
3. Оползни	Разрушение подходов к ИССО	1-4, 7
4. Землетрясения	Разрушение верхнего строения пути	3-8
5. Перегрузка несущих конструкций подвижной нагрузкой	Подмыв опор (устоя)	1, 2
6. Таранные воздействия (навал) речных судов	Смещение или потеря устойчивости опор (устоя)	1-4, 7-8
7. Подрыв конструкции	Разрушение опор (устоя)	1-4, 7-8
8. Появление и развитие дефектов в конструктивных элементах (прогрессирующее разрушение)	Смещение или падение пролета	2-4, 6-8
	Падение пролета	2-4, 6-8
	Разрушение пролета	2-5, 7-8
	Обрушение породы	4, 7

**Рис. 3. Взаимосвязь между воздействиями и возможными разрушениями**

Также различные виды разрушений могут устраняться однотипными видами работ. Такая взаимосвязь показана на рис. 4, где цифрами обозначен порядковый номер вероятного разрушения.

ВЕРОЯТНЫЕ РАЗРУШЕНИЯ	СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ	№ РАЗРУШЕНИЯ
1. Размыв грунтов и потеря несущей способности (основание, земляное полотно)	Отсыпка грунтов и инертных материалов	1-5, 11
2. Разрушение берегов и русла	Выравнивание промежуточной опоры	5, 6
3. Разрушение подходов к ИССО	Замена (восстановление) устоя	5-7
4. Разрушение верхнего строения пути	Замена (восстановление) промежуточной опоры	5-7
5. Подмыв опор (устоя)	Установка пролета в проектное положение	8, 9
6. Смещение или потеря устойчивости опор (устоя)	Замена (монтаж) пролета	9, 10
7. Разрушение опор (устоя)		
8. Смещение или падение пролета		
9. Падение пролета		
10. Разрушение пролета		
11. Обрушение породы		

**Рис. 4. Взаимосвязь между возможными разрушениями и способом их восстановления**





Рис. 6. Варианты сценариев при подрыве конструкций

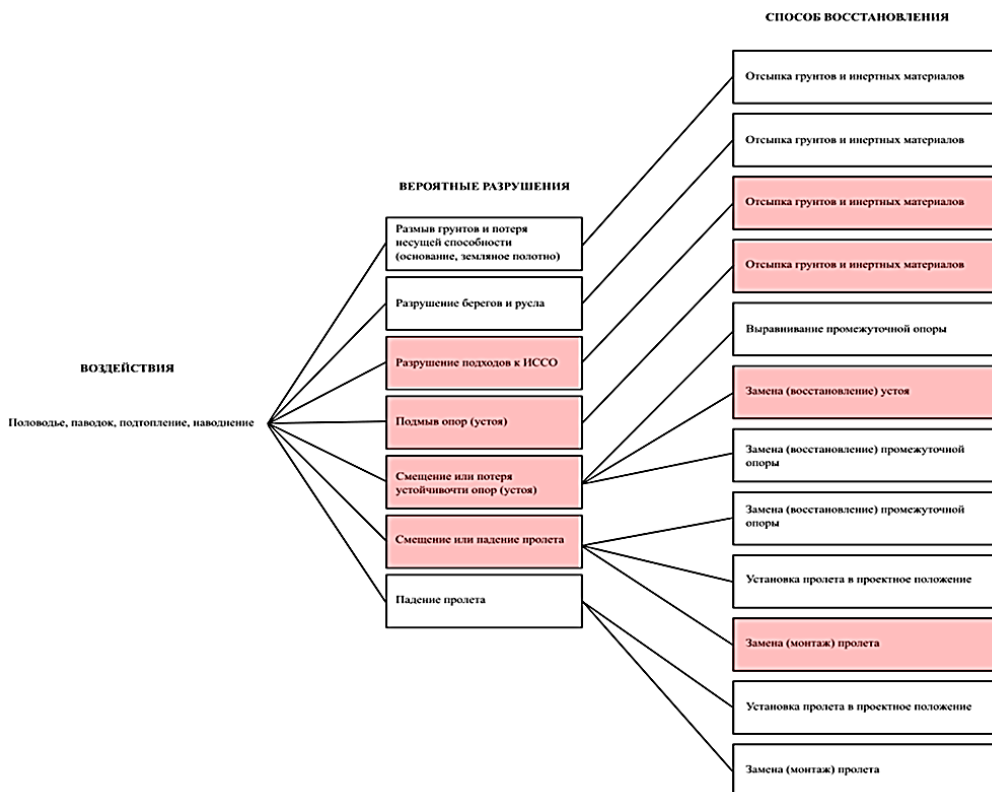


Рис. 7. Разрушения и способы их восстановления

### **Вывод**

К наиболее часто возникающим стихийным бедствиям природного характера относятся наводнения, ураганы, бури, тайфуны, смерчи, сильные или особо длительные дожди, землетрясения, сильные снегопады и метели, оползни и обвалы. При этом могут возникать несколько видов воздействий, одновременно провоцирующих сопутствующие воздействия и способствующих развитию более сильных воздействий. Их процентное соотношение по частоте проявления приведено в табл. 3 и 4.

Причинами стихийных бедствий техногенного характера являются ошибки в расчетах, грубое нарушение технологий строительства или отступление от проекта, отсутствие установленного технического обслуживания, а также несоблюдение безопасности движения при перевозке негабаритных грузов. Такие воздействия приводят к повреждению конструктивных элементов как в процессе эксплуатации сооружения, так и на стадии его строительства, например, крен или падение опоры, падение, опрокидывание или сдвигка пролета, разрушение опорных частей, трещины, коррозия, прогибы и сдвиги, приводящие к ограничению в эксплуатации (частичному отказу сооружения) или закрытию движения (полному отказу). Недопущение указанных отказов может быть достигнуто путем проведения комплекса мероприятий, включающих в себя усиление контроля качества строительства, повышение уровня знаний и совершенствование компетенций проектировщиков и строителей, тщательную экспертизу особо важных и технически сложных проектов, а также проведение технической учебы, способствующей формированию должного уровня ответственности работников, занятых в транспортной отрасли.

Из всех рассмотренных воздействий определены восемь наиболее опасных воздействий, таких как паводок, наводнение, подтопление, навал, оползни, землетрясения, перегрузка несущих конструкций подвижной нагрузкой, таранные воздействия (навал) речных судов, подрыв конструкции, появление и развитие дефектов в конструктивных элементах (прогрессирующее разрушение), которые приводят к 11 вероятным разрушениям и шести типовым способам восстановления. Такие виды воздействий, вероятных разрушений и способов восстановления приводят к возникновению 104 сценариев развития событий после возникновения различного рода воздействий, в результате которых произойдет критическое повреждение искусственного сооружения.

### **Список литературы**

1 **Международный стандарт ISO 31000. Risk management.** – Guidelines, IDT (ISO 31000 Управление рисками). Документ разработан ISO/TC 262 Risk management и опубликован 2018-02. 2018. – 19 с.

2 **ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство :** национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2019 г. N 1379-ст. – Москва : Стандартформ, 2020. – 14 с.

3 **ГОСТ 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте :** межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 декабря 2015 г. N 2108-ст : межгосударственный стандарт ГОСТ 33433-2015 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2016 г. – Москва : Стандартформ, 2020. – 35 с.

4 **Д 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений :** руководящий документ : введен в действие приказом

### **References**

1 **International Standard ISO 31000. Risk management.** – Guidelines, IDT (ISO 31000 Risk Management). The document was developed by ISO/TC 262 Risk management and published 2018-02. 2018. – 19 p.

2 **GOST R ISO 31000-2019. Risk management. Principles and guidance:** national standard of the Russian Federation : official edition : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 10, 2019. No. 1379-st. – Moscow : Standartform, 2020. – 14 p.

3 **GOST 33433-2015. Functional safety. Risk management in railway transport:** interstate standard: official edition : by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 4, 2015 N 2108-st : the interstate standard GOST 33433-2015 was put into effect as the national standard of the Russian Federation from September 1, 2016. – Moscow : Standartform, 2020. – 35 p.

4 **D 52.88.699-2008. Regulation on the procedure for the actions of institutions and organizations in the event of a threat of occurrence and occurrence of hazardous natural phenomena :** a guiding document : put into effect by order of Roshydromet

Росгидромета от 16.10.2008 N 387. – Москва, 2008. – 35 с.

5 **СП 116.13330.2012.** Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения : свод правил : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 274 и введен в действие с 1 января 2013 г. – Москва, 2012. – 65 с.

6 **Zanetti, A.** Natural catastrophes and man-made disasters in 2006 : low insured losses / Zanetti, A., Schwarz, S., Lindemuth, A. // Sigma Insurance Research. – No. 2. – 2007. – P. 1–40.

7 **Бондур, В. Г.** Мониторинг и прогнозирование природных катастроф / В. Г. Бондур, В. Ф. Крапивин, В. П. Савиных. – Москва : Научный мир, 2009. – 629 с. – ISBN 978-5-91522-125-2.

8 Статистика аварий мостов в России и СНГ за 5 лет : сайт. – URL: <http://www.bridgeart.ru> (дата обращения: 09.03.2023).

9 Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2018. – URL: [https://53.mchs.gov.ru/uploads/resource/2022-09-13/2018-god\\_16630798311353621584.pdf](https://53.mchs.gov.ru/uploads/resource/2022-09-13/2018-god_16630798311353621584.pdf) (дата обращения: 09.03.2023).

10 Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2019. – URL: <https://static.mchs.gov.ru/uploads/document/2020-05-21/e69e310b09363f0e94ca105ab2fe5c75.pdf> (дата обращения: 09.03.2023).

11 Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2020. – URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2021-05-14/61966f9e46aefc2a1cd01a1a3994a295.pdf> (дата обращения: 09.03.2023).

12 Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / Министерство Российской Федерации по

dated October 16, 2008 No. 387. – Moscow, 2008. – 35 p.

5 **SP 116.13330.2012.** Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic provisions : set of rules : approved by order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia) of June 30, 2012 N 274 and put into effect on January 1, 2013. – Moscow, 2012. – 65 p.

6 **Zanetti, A.** Natural catastrophes and man-made disasters in 2006 : low insured losses / Zanetti, A., Schwarz, S., Lindemuth, A. // Sigma Insurance Research, No. 2. – 2007. – P. 1–40.

7 **Bondur, V. G.** Natural disasters / V. G. Bondur, V. F. Krapivin, V. P. Savinykh. – Moscow : Scientific world, 2009. – 629 p. – ISBN 978-5-91522-125-2.

8 Statistics of bridge accidents in Russia and the CIS for 5 years: website. – URL: <http://www.bridgeart.ru> (date of access: 03/09/2023).

9 State report on the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies / Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergency Situations and Elimination of Consequences of Natural Disasters. – 2018. – URL: [https://53.mchs.gov.ru/uploads/resource/2022-09-13/2018-god\\_16630798311353621584.pdf](https://53.mchs.gov.ru/uploads/resource/2022-09-13/2018-god_16630798311353621584.pdf) (date of access: 03/09/2023).

10 State report on the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies / Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief. – 2019. – URL: <https://static.mchs.gov.ru/uploads/document/2020-05-21/e69e310b09363f0e94ca105ab2fe5c75.pdf> (date of access: 03/09/2023).

11 State report on the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies / Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief. – 2020. – URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2021-05-14/61966f9e46aefc2a1cd01a1a3994a295.pdf> (date of access: 03/09/2023).

12 State report on the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies / Ministry

делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 2021. – URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-05-31/ee846937460fb0da28cb210725336ddf.doc> (дата обращения: 09.03.2023).

of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief. – 2021. – URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-05-31/ee846937460fb0da28cb210725336ddf.doc> (date of access: 03/09/2023).

*V. L. Shapovalov, P. V. Kharlamov, A. G. Kochur*

## ANALYSIS OF SCENARIOS FOR THE SITUATION DEVELOPMENT UNDER DIFFERENT IMPACTS ON ARTIFICIAL RAILWAY STRUCTURES

**Abstract.** The work is devoted to the analysis of the impacts of natural and man-made nature as well as the impacts caused by malicious and military actions on the artificial railway structures. One of these structures most susceptible to external influences are bridge structures across water barriers. The paper considers many influences of various nature. The most significant ones are estimated evaluated in terms of probability of their occurrence and the ability to lead to a complete failure of artificial structures. It is determined that there are probable types of destruction and the applied types of restoration work. Several types of scenarios for the situation development during high water, flooding, underflooding, flood and undermining the structure are proposed.

**Keywords:** artificial structures, bridges, destruction, impacts, restoration.

**For citation:** Shapovalov, V. L. Analysis of scenarios for the situation development under different impacts on artificial railway structures / V. L. Shapovalov, P. V. Kharlamov, A. G. Kochur // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 1. – P. 209–223. – DOI 10.46973/0201–727X\_2023\_1\_209.

### Сведения об авторах

#### **Шаповалов Владимир Леонидович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Путь и путевое хозяйство»,  
кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: cpd@rgups.ru

#### **Харламов Павел Викторович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,  
доктор технических наук, доцент,  
e-mail: kcharlamov@yandex.ru

#### **Кочур Андрей Григорьевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Физика»,  
доктор физико-математических наук, профессор,  
e-mail: agk2007@bk.ru

### Information about the authors

#### **Shapovalov Vladimir Leonidovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Track and Track Facilities»,  
Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor,  
e-mail: cpd@rgups.ru

#### **Kharlamov Pavel Viktorovich**

Rostov State University of Railways (RSTU),  
Chair «Transport Machines and Tribotechnics»,  
Doctor of Engineering Sciences,  
Associate Professor,  
e-mail: kcharlamov@yandex.ru

#### **Kochur Andrey Grigorievich**

Rostov State University of Railways (RSTU),  
Chair «Physics»,  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor,  
e-mail: agk2007@bk.ru