

Канд. техн. наук **И.Я. Богданов**,
аспирант **В.А. Рудских**
(Сибирский федеральный университет (СФУ))
Контактная информация: v.rudskikh@yandex.ru

В статье приведен перечень аварийных состояний и отказов мостовых сооружений, эксплуатируемых на дорогах Российской Федерации. Проанализированы причины и характер воздействий, обуславливающих потерю сооружениями эксплуатационных качеств. Установлена причинно-следственная связь отказов отдельных элементов сооружений. Рассмотрены методики оценки аварийных состояний, используемые в настоящее время. Определены направления в решении задач по обеспечению уровня эксплуатационной надежности и долговечности сооружений.

Ключевые слова: мост, надежность, отказ, авария, долговечность, безопасность.

Мосты являются ответственными искусственными сооружениями, отказ которых может привести как к непосредственной угрозе жизни людей во время аварии, так и к дальнейшим негативным экономическим и экологическим последствиям. Актуальность исследования обусловлена тем, что, согласно статистическим данным, в России аварии на мостах, путепроводах и виадуках за период с 1875-2021 гг. послужили причиной смерти не менее 350 человек, а более 280 человек получили телесные повреждения, при этом был нанесен значительный экономический ущерб как для граждан, так и для государства в целом. Это свидетельствует о необходимости повышения качества расчетов проектируемых мостовых сооружений и более тщательного проведения обследований эксплуатируемых мостов. Высокие требования к надежности мостовых сооружений продиктованы современными трендами в строительстве как на территории Российской Федерации, так и за ее пределами. Безопасность сооружения напрямую зависит от способности его конструкций работать в критических ситуациях. Способность мостов сохранять прочность и устойчивость при максимальных нагрузках ведет к положительному экономическому эффекту при дальнейшей их эксплуатации. Целью исследования, рассмотренного в данной статье, является установление распределения причин произошедших аварий для

последующей разработки методики по предотвращению отказов и увеличению надежности как проектируемых, так и эксплуатируемых мостовых сооружений.

Согласно данным Федерального дорожного агентства (Росавтодор) (далее – Росавтодор) [1], по состоянию на 1 января 2021 г. на территории Российской Федерации насчитывалось 43084 мостов и путепроводов на автомобильных дорогах, общая протяженность которых составила 2579 км. При этом количество капитальных сооружений составило 39105 шт., остальная часть относится к временным сооружениям. Основной фонд состоит из 28596 шт. железобетонных и каменных мостов, 6342 шт. металлических мостов, 4167 шт. путепроводов и эстакад на пересечении автомобильных дорог с железными и автомобильными дорогами, а также из 3979 шт. деревянных мостов. Из 43084 мостов – 7572 располагаются на дорогах федерального значения, в то время как 35512 – на дорогах регионального значения. Помимо мостов на автомобильных дорогах в России насчитывается около 30,5 тыс. мостов на железных дорогах, согласно данным ОАО «РЖД». Кроме того, по данным Росавтодора, на территории страны насчитывается 847 эстакадных пешеходных переходов через автомобильные дороги.

В **табл. 1** представлены обобщенные данные о 199 авариях и отказах на мостовых сооружениях с указанием категории и причин отказа. В данной таблице приведены сведения о 170 случаях отказов капитальных сооружений, а также 29 случаях отказов некапитальных сооружений. Перечень составлен на основе источников [2-15].

На **рис. 1** показано распределение отказов по категориям предельных состояний для капитальных сооружений. Основное количество отказов (75 %) составили отказы по первой группе предельных состояний, при этом наибольшая часть отказов, 57 % от общего числа, приводила к полному обрушению моста или его основных конструктивных частей (опора, пролет, проезжая часть и т.д.) с полным разрывом линии движения по мосту. К частичным обрушениям по первому предельному состоянию (например, обрушение тротуаров, ограждений, частичное обрушение проезжей части и т.д.) приводило 18 % отказов. К отказам по второму предельному состоянию относят лишь 25 % случаев.

Таблица 1

Обобщенные данные об авариях мостовых сооружений на территории России

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>Капитальные сооружения</i>							
<i>1</i>	Ж/д мост через р. Кевду (Моршанско-Сызранская ж/д)	Метал. фермы, 33,5 м	не введен	01.01.1875	I(П), ПС, пр./уст.	н/д	[2]
<i>2</i>	Египетский пешеходный мост в г. Санкт-Петербурге	Метал., подвесной	1826	20.01.1905	I(П), Ц, ПГ/рез.	0/20	[3]
<i>3</i>	Романовский ж/д мост через р. Волгу в г. Зеленодольске	Метал. фермы	не введен	1912	I(П), БУ, прир./лед.	0/0	[4]
<i>4</i>	Мозырский ж/д мост через р. Припять	Метал. фермы	не введен	1925	II, ПС, стр./пож.	0/0	[4]
<i>5</i>	Саратовский ж/д мост через р. Волгу	Метал. фермы	не введен	13.04.1934	I(П), ПС, стр.	150/0	[2]
<i>6</i>	Путепровод в г. Кинель Самарской обл.	Метал. ферма	н/д	1964	II, ПС, ДТП/ферма	0/0	[4]
<i>7</i>	А/д мост через р. Унжу в Костромской обл.	СтЖБ	не введен	1970-е	I(П), стр./уст.	н/д	[5]
<i>8</i>	Ж/д мосты на Кругобайкальской железной дороге	Различные	1905/1914	1971	I(П), Оп., прир./пав.	0/0	[4]
<i>9</i>	Путепровод на ж/д станции Пушкино в Московской обл.	Метал. балки	1927	17.08.1977	I(П), изн./устал.	28/165	[3]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- ших/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>10</i>	А/д мост через р. Клязьму во Владимирской обл.	СтЖБ, 84,3 м	1963	1978	I(П), ПС, стр./изг.	0/1	[3]
<i>11</i>	Сызранский ж/д мост через р. Волгу в Самарской обл.	Метал. ферма	1880	06.12.1980	II, Оп, навал	0/0	[6]
<i>12</i>	А/д мост Александра Невского в г. Санкт-Петербурге	Метал. балки, 50 м, разводной	1965	1982	II, ПВ, изн./корр.	0/0	[3]
<i>13</i>	Ж/д мост через р. Волгу вблизи г. Ульяновска	Метал. ферма	1916	05.06.1983	I(П), ПС, навал	176/0	[6]
<i>14</i>	А/д мост в Республике Чувашия	ЖБ-балки, 15 м	не введен	1985	II, БУ, пр./грунт.	0/0	[4]
<i>15</i>	Пешеход. путепровод через ж/д пути в г. Екатеринбурге	ЖБ-балки	н/д	1985	I(П), ПС, ДТП/ПС	0/2	[4]
<i>16</i>	Большой Петровский пешеход. мост через р. Мал. Невку (СПб)	Метал. балки	1947	декабрь 1993	I(Ч), Оп., прир./лед.	0/0	[4]
<i>17</i>	Путепровод через ж/д пути в Кемеровской обл.	ЖБ-балки	н/д	13.05.1998	I(П), Оп., ДТП/Оп.	н/д	[4]
<i>18</i>	Ж/д мост через р. Пышму в Свердловской обл.	Метал. балки	1914	24.07.2001	I(П), ПС, стр./нагр.	4/0	[3]
<i>19</i>	А/д мост через р. Большой Кинель в Оренбургской обл.	ЖБ-балки	1957	14.08.2003	II, Оп., изн./нагр.	0/0	[3]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
20	Девять а/д мостов на юге о. Сахалин	Различные	н/д	сент. 2003	I(П), прир./тайф.	0/0	[4]
21	Ж/д мост через р. Свирь в Республике Карелия	Метал. ферма, 100 м, разводной	1946	04.01.2004	II, ПС, навал	0/0	[6]
22	А/д мост через р. Усманку в Воронежской обл.	ЖБ-балки, 22 м	1972	29.04.2004	I(Ч), ПС, изн./мат.	0/9	[3]
23	А/д мост через р. Усмань в г. Воронеже	ЖБ-балки	не введен	21.07.2004	I(П), Оп., стр./ПР	1/6	[2]
24	Пешеход. мост в г. Химки, Московская обл.	ЖБ-балки	1960-е	12.10.2004	I(П), ДТП/ПС	3/3	[4]
25	А/д мост через р. Тартас в Новосибирской обл.	ЖБ-балки	1979	10.09.2005	I(П), ПС, изн./трещ.	0/1	[4]
26	А/д мост через р. Юганскую Обь в г. Нефтеюганске	Метал. фермы, 150 м	не введен	2006	I(П), ОрП, пр./КН	н/д	[4]
27	Висячий а/д мост на р. Лебедь в Республике Алтай	Висячий, 40 м	1971	30.04.2006	I(П), Оп., прир./подм.	0/0	[4]
28	А/д мост через р. Десну в Смоленской обл.	ЖБ-балки, 22 м	1961	07.08.2006	I(П), Оп., стр./ПР	0/3	[2]
29	А/д путепровод на ул. Восточной в г. Екатеринбурге	ЖБ-балки	не введен	04.09.2006	I(П), Оп., стр./текст	0/0	[2]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>30</i>	Путепровод на участке «Листвянка – Перевлес» в Рязанской обл.	ЖБ-балки	н/д	19.09.2006	I(П), Оп., ДТП/Оп.	0/0	[4]
<i>31</i>	Путепровод на ж/д станции Тестовская в г. Москве	Ж/б	н/д	02.03.2007	I(Ч), ПС, изн./мат.	0/0	[3]
<i>32</i>	Ж/д в г. Орше	ЖБ-балки	н/д	06.04.2007	I(Ч), ПС, ДТП/ПС	0/1	[4]
<i>33</i>	А/д мост через р. Чагоду в Вологодской обл.	ПН ЖБ балки, 22 м	1999	10.07.2007	I(Ч), ПС, ПГ/вибр.	0/0	[3]
<i>34</i>	Коммуникационный путепровод теплоцентрали в г. Москве	Метал. балки	н/д	16.08.2007	II, ПС, ДТП/ПС	0/1	[4]
<i>35</i>	Ворошиловский а/д мост в г. Ростове-на-Дону	Ж/б балочн.- конс., 132 м	1965	26.08.2007	II, ПС, изн./корр.	0/0	[7]
<i>36</i>	Путепровод на 107 км ж/д «Сыня – Усинск»	ЖБ-балки	н/д	13.12.2007	II, Оп, ДТП/ПС	0/1	[4]
<i>37</i>	Путепровод на км 72 дороги «Обская – Бованенко» (Ямал)	ЖБ-балки	не введен	02.01.2008	I(П), Оп., стр./вет.	1/0	[2]
<i>38</i>	А/д мост через р. Пшеху в Краснодарском крае	ЖБ-балки	н/д	07.04.2008	I(П), ПС, изн.	0/0	[4]
<i>39</i>	Гагаринский а/д мост через р. Оку в Калужской обл.	ЖБ-балки (консольные)	1967	17.04.2008	I(Ч), ПС, стр./кран	1/4	[2]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- ших/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
40	Десять а/д мостов, дорога Ираель–Ижма–Усть-Цильма	ЖБ-балки	н/д	06.05.2008	II, ПС+Оп.+Оч, ПГ	0/0	[3]
41	А/д мост через р. Тымь в Сахалинской обл.	ЖБ-балки	1977	24.05.2008	I(II), Оп, прир./подм.	0/0	[4]
42	А/д мост в Республике Дагестан	ЖБ-балки	н/д	23.06.2008	I(II), Оп., прир./сель	0/0	[7]
43	А/д мост в г. Боровичи Новгородской обл.	ЖБ-балки	1964	03.07.2008	I(Ч), ПС, изн.	0/0	[8]
44	А/д мост через р. Аргун в Республике Чечня	Метал. балки, 52 м	1959	07.09.2008	I(II), ПС изн./устал.	0/0	[3]
45	Ж/д мост через р. Иртыш в Омской обл.	Метал. фермы, 110 м	1950-е	29.09.2008	I(II), ПС, ДТП	1/0	[4]
46	А/д мост через р. Везёлку в г. Белгороде	ЖБ-балки	1988	17.03.2009	I(Ч), Тр, изн./корр.	0/2	[3]
47	А/д каменный мост в г. Калуге	Каменный, арочный	1785	10.04.2009	I(Ч), ЖБП, изн./нагр.	0/0	[4]
48	А/д мост через р. Андриановку в Камчатской обл.	ЖБ-балки	н/д	11.06.2009	II, Оп., прир./подм.	0/0	[4]
49	А/д мост через р. Волгу в Ивановской обл.	Метал. арка	1959	04.07.2009	II, ПС, навал	0/0	[6]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
50	Путепровод на ул. Северной в г. Краснодаре	ЖБ-балки	1976	04.08.2009	I(Ч), Тр, стр./вибр.	0/0	[2]
51	А/д мост через р. Шивронь в Тульской обл.	Метал. балки	1980	12.10.2009	I(П), Оп., ПГ	0/0	[3]
52	Пешеход. мост на ул. Громова в г. Екатеринбурге	ЖБ-балки	н/д	21.11.2009	I(П), ПС, ДТП/ПС	0/1	[4]
53	А/д мост через р. Которосль в Ярославской обл.	ЖБ-балки	не введен	03.12.2009	I(Ч), ПС, стр./ПР	1/1	[8]
54	А/д мост через р. Обву в Пермском крае	ЖБ-балки	н/д	19.01.2010	I(Ч), ПС, стр./ПР	1/0	[8]
55	А/д мост в г. Аше Челябинской обл.	ЖБ-балки	н/д	28.04.2010	II, БУ, прир./подм.	0/0	[4]
56	А/д мост через р. Ушайку в г. Томске	ЖБ-балки	н/д	30.04.2010	I(Ч), Оп, прир./пав.	0/0	[4]
57	Пешеход. мост через р. Орлик в г. Орле	Метал. рамный	н/д	09.05.2010	I(Ч), ПС, ПГ	0/10	[3]
58	А/д мост через р. Шахтерку в Сахалинской обл.	ЖБ-балки	н/д	14.05.2010	I(П), БУ, изн./нагр.	0/1	[8]
59	А/д мост через р. Волгу в г. Волгограде	Метал. балки, 155 м	2009	20.05.2010	II, ПС, прир./вет.	0/0	[4]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
60	Путепровод на а/д М4 в Республике Адыгея	ЖБ-балки	н/д	20.05.2010	I(П), ПС, изн./устал.	0/0	[8]
61	А/д мост через р. Иружу в Тверской обл.	ЖБ-балки	1970-е	03.06.2010	I(П), БУ, прир./подм.	0/0	[4]
62	А/д мост через р. Шокшу в Вологодской обл.	ЖБ-балки	н/д	07.06.2010	I(Ч), БУ, прир./подм.	0/0	[4]
63	Пешеход. мост через р. Кемь у пос. Гайжево в Республике Карелия	Метал., экстрадозный	2001	26.11.2010	I(П), ПС, прир./t°/вет.	0/0	[2]
64	Пешеход. путепровод в г. Владивостоке	ЖБ-балки	н/д	18.12.2010	I(П), ПС, ДТП/ПС	1/0	[4]
65	Рудневский а/д мост в г. Владивостоке	ЖБ-балки	1972	15.01.2011	II, прир./t°	0/0	[7]
66	А/д мост через р. Тымь в Сахалинской обл.	ЖБ-балки	1978	26.02.2011	I(Ч), ПС, стр./нагр.	1/0	[8]
67	Пешеход. переход на а/д Владивосток-Хабаровск	ЖБ-балки	н/д	15.03.2011	I(П), ПС, ДТП/ПС	1/0	[7]
68	А/д мост через р. Ингоду в Забайкальском крае	Метал., балки	1964	17.03.2011	I(П), ПС, стр./ЛПР	0/4	[3]
69	А/д мост через р. Колокшу в Ярославской обл.	Метал. балки, 30 м	2007	20.03.2011	I(П), ПС, изн./нагр.	0/0	[3]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
70	А/д мост через р. Чалвенка в г. Чехове Московской обл.	ЖБ-балки	1965	21.04.2011	I(Ч), Тр., изн.	0/0	[8]
71	Ж/д мост через р. Абакан в Аскизском районе в Республике Хакасия	Метал. фермы	1964	07.05.2011	I(П), Оп, прир./подм.	0/0	[4]
72	Ж/д мост через р. Абакан в Аскизском районе в Республике Хакасия	Метал. фермы	1964	11.05.2011	I(П), Оп, прир./подм.	0/0	[8]
73	Путепровод через ж/д в г. Туле	ЖБ-балки	1977	01.06.2011	I(Ч), МП, изн.	0/0	[7]
74	Пешеход. переход на 24-м км а/д М-4	ЖБ-балки	н/д	10.06.2011	I(П), ПС, ДТП/ПС	1/0	[7]
75	Ж/д мост на дороге «Екатеринбург – Пермь»	ЖБ-балки	н/д	03.11.2011	I(П), Оп., ДТП/Оп.	0/1	[7]
76	Ж/д путепровод в г. Санкт-Петербурге	Метал. балки	н/д	25.11.2011	II, Оп., ДТП/Оп.	0/0	[7]
77	А/д мост на а/д «Джугба – Сочи»	ЖБ	1963	30.11.2011	I(Ч), МП, изн.	0/0	[7]
78	А/д мост через бухту Золотой Рог в г. Владивостоке	Вантовый, 737 м	не введен	12.12.2011	II, ПС, стр./пож.	0/0	[7]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- ших/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
79	А/д мост на а/д Р-225 в Самарской обл.	ЖБ-балки	1959	19.04.2012	I(Ч), МП, изн.	0/0	[8]
80	А/д мост через р. Оша в Омской обл.	ЖБ-балки	1980-е	25.06.2012	I(П), Оп, прир./пав.	0/0	[8]
81	Аксайский а/д мост через р. Дон в г. Ростове-на-Дону	СтЖБ	1964	05.12.2012	I(П), Тр., стр./ПР	1/0	[8]
82	А/д мост около пос. Ивановский в Орловской обл.	Подвесной	н/д	17.01.2013	I(П), Т, н/д	1/3	[8]
83	А/д мост через р. Ворону в Воронежской обл.	СтЖБ, 42 м	не введен	19.01.2013	I(П), ПС, стр./ПР	1/2	[8]
84	А/д мост через р. Обь в г. Барнауле	Метал. ферма	1972	17.05.2013	I(Ч), ЖБП, изн.	0/0	[8]
85	Путепровод через ж/д на ул. Авиаторов в г. Красноярске	ПН ЖБ балки 33 м	не введен	17.10.2013	I(П), ПС, стр./изг.	1/1	[9]
86	Мост через протоку р. Енисей в г. Минусинске Красноярского края	СтЖБ, 42 м	не введен	14.03.2016	I(П), ПС, стр./ПР	0/6	[10]
87	А/д мост между селами Старая Курба и Новая Курба, Республика Бурятия	Метал. фермы	н/д	02.02.2018	I(П), ПС, ПГ	0/0	[11]
88	А/д мост через р. Урсул в Республике Алтай	ЖБ-балки	1968	19.04.2018	I(П), Оп., прир./пав.	0/0	[11]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
89	А/д мост через р. Витим в Забайкальском крае	Метал. балки	1982	12.05.2018	I(П), Оп, прир./пав.	0/0	[11]
90	А/д мост через р. Кипарисовку в Приморском крае	ЖБ-балки	1965	26.06.2018	I(П), ПС, изн./нагр.	0/1	[11]
91	25 а/д мостов в Забайкальском крае	Различные	н/д	10.07.2018	I(П)/II, Оп, прир./пав.	0/0	[11]
92	А/д мост на севере г. Читы, Забайкальский край	ЖБ-балки	н/д	14.07.2018	I(П), Оп, прир./пав.	0/0	[11]
93	Навесной пешеходный мост в Московской обл.	Метал. балки	н/д	31.07.2018	I(П), ПС, ДТП/ПС	0/0	[11]
94	12 а/д мостов в сельской местности в Приморском крае	Различные	н/д	27.08.2018	I(П), Оп, прир./пав.	0/0	[11]
95	А/д путепровод в г. Свободном в Амурской обл.	ЖБ-балки	1980-е	09.10.2018	I(П), ПС, изн./нагр.	0/1	[11]
96	А/д мост через р. Правую Березовую	ЖБ-балки	1940-е	10.10.2018	II, изн	0/0	[11]
97	Пешеходный мост в г. Владивостоке	ЖБ-балки	н/д	16.10.2018	I(П), ПС, ДТП/ПС	0/0	[11]
98	А/д мост через р. Макопсе в г. Сочи Краснодарского края	Метал. фермы	н/д	24.10.2018	I(Ч), ПС, прир./пав.	0/0	[11]
99	А/д мост около села Осиновка в Приморском крае	ЖБ-балки	1965	26.10.2018	I(Ч), ПС, изн./нагр.	2/0	[11]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- ших/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>100</i>	А/д мост в г. Нефтеюганске в р-не Ханты-Мансийского АО	Метал. балки	не введен	05.11.2018	I(П), ПС, стр./ПР	2/7	[11]
<i>101</i>	А/д мост в Свободненском р-не Амурской обл.	ЖБ-балки	1980-е	10.05.2019	I(Ч), ПС, изн./нагр.	0/0	[12]
<i>102</i>	А/д мост через р. Ламу в Московской обл.	Метал. балки	н/д	19.06.2019	I(Ч), ПС, ПГ	0/0	[12]
<i>103</i>	А/д мост в пос. Щитовая в Приморском крае	ЖБ плита	н/д	19.06.2019	I(П), Оп., прир./пав.	0/0	[12]
<i>104</i>	А/д мост через р. Неведрянку в Псковской обл.	ЖБ-балки	1962	17.09.2019	I(Ч), Оп., изн./нагр.	0/1	[12]
<i>105</i>	А/д мост на а/д «Дальнереченск – Ракитное» в Приморском крае	ЖБ-балки	н/д	27.09.2019	I(Ч), ПС, ПГ	0/0	[12]
<i>106</i>	А/д мост на участке а/д «Шкотово-Ивановка» в Приморском крае	ЖБ-балки	н/д	03.10.2019	I(Ч), ПС, изн./нагр.	0/0	[12]
<i>107</i>	А/д мост на ул. Терешковой в г. Оренбурге	ЖБ-балки	1984	02.12.2019	I(П), изн.	0/2	[12]
<i>108</i>	А/д мост через р. Макаровку в Иркутской обл.	Метал. ферма	н/д	04.12.2019	I(П), ПС, ПГ	0/0	[12]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
109	А/д мост на а/д М-7 на объезде г. Владимира	ЖБ-балки	н/д	11.12.2019	I(Ч), Ог, изн.	0/0	[12]
110	Автопешеход. мост через р. Унжу в Костромской обл.	Метал. ферма	2016	19.03.2020	I(П), Оп, прир./лед.	0/0	[12]
111	А/д мост на а/д «Владивосток – Находка»	ЖБ-балки	1962	03.04.2020	I(П), изн.	0/0	[12]
112	А/д мост через р. Икуру в Еврейской АО	ЖБ-балки	н/д	07.05.2020	I(П), ПС, изн./нагр.	0/1	[12]
113	А/д мост в Жирновском р-не Волгоградской обл.	ЖБ-балки	н/д	29.05.2020	I(П), ПС, ПГ	0/0	[12]
114	Ж/д мост на перегоне Выходной-Кола в Мурманской обл.	Метал. балки	1930	01.06.2020	I(П), Оп, прир./пав.	0/0	[12]
115	А/д мост через р. Сакмару в г. Оренбурге	ЖБ-балки	1972	03.06.2020	I(Ч), Ог, изн.	0/0	[12]
116	Пешеход. переход на а/д М5 «Урал»	Метал. фермы	н/д	29.09.2020	I(П), ПС, ДТП	1/0	[13]
117	А/д мост в р-не села Хебда в Республике Дагестан	Метал. фермы	н/д	15.03.2021	I(П), ПС, ПГ	0/1	[14]
118	Пешеход. переход на 42 км Екатеринбургской кольцевой а/д	Метал. балки	н/д	24.04.2021	I(П), ПС, ДТП	0/0	[15]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- щих/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>Некапитальные сооружения и прочие (данные отсутствуют)</i>							
<i>119</i>	Пешеход. мост через р. Верхнюю Тойму в Архангельской обл.	Подвесной	1997	11.05.2005	I(П), ПС, ПГ	4/0	[4]
<i>120</i>	А/д мост через р. Кулу в Магаданской обл.	Дерев.	1959	23.05.2006	I(П), ПС, ПГ	0/1	[3]
<i>121</i>	А/д мост через р. Дерзиг в Республике Тыва	Дерев.	1986	29.05.2006	I(П), ПС, пож.	0/0	[6]
<i>122</i>	Временный а/д мост через р. Самур в Республике Дагестан	н/д	1994	13.07.2008	I(Ч), БУ, прир./пав.	0/0	[4]
<i>123</i>	А/д мост в Хабаровском крае	Дерев.	н/д	14.07.2008	I(Ч), ПС, ПГ	0/1	[7]
<i>124</i>	А/д мост в Республике Карелия	Дерев.	н/д	01.10.2008	I(Ч), ПС, изн./нагр.	0/0	[7]
<i>125</i>	Автопешеход. мост в г. Петрозаводске	Понтонный	2006	23.11.2008	I(П), ПС, прир./штр.	0/0	[7]
<i>126</i>	А/д мост у г. Алапаевске в Свердловской обл.	Дерев.	н/д	18.04.2009	I(П), Оп, прир./лед.	0/0	[4]
<i>127</i>	А/д мост через р. Малую Черепаниху в Республике Саха	Дерев.	1950-е	06.06.2009	I(П), ПС, ПГ/устал.	0/0	[4]
<i>128</i>	А/д мост через р. Мягую в Хабаровском крае	Дерев., 16 м	1985	04.08.2009	I(П), ПС, ПГ	0/0	[3]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- ших/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>129</i>	А/д мост через р. Чулым в Красноярском крае	Дерев.	н/д	11.08.2009	I(П), ПС, ПГ	0/0	[3]
<i>130</i>	А/д мост в пос. Запань Нова в Вологодской обл.	Дерев.	н/д	07.10.2009	I(П), ПС, ПГ	0/0	[3]
<i>131</i>	А/д мост через р. Бисерть в Свердловской обл.	Дерев.	1980-е	23.08.2010	I(П), ПС, ПГ	0/0	[3]
<i>132</i>	Пешеход. мост в селе Летово Рязанской обл.	Дерев.	н/д	20.09.2010	I(П), БУ, изн./нагр.	0/5	[8]
<i>133</i>	Два а/д моста в Сахалинской обл.	Дерев.	1970-е	05.10.2010	I(П), ПС, изн./корр.	0/0	[4]
<i>134</i>	А/д мост через р. Камчатку в р-не пос. Ключи	н/д	н/д	11.02.2011	I(Ч), ПС, ПГ	0/0	[3]
<i>135</i>	А/д мост через р. Томилиху в Нижегородской обл.	Дерев.	н/д	13.05.2011	I(П), ПС, ПГ	0/0	[7]
<i>136</i>	А/д мост через р. Ящеру в Ленинградской обл.	Дерев., 15 м	н/д	07.05.2012	I(П), Оп., изн.	0/0	[8]
<i>137</i>	А/д мост у дер. Одинцово в Тверской обл.	Дерев.	н/д	09.06.2012	I(П) ПС, изн/нагр	0/1	[8]
<i>138</i>	А/д мост через р. Прупт в Республике Коми	Дерев.	н/д	19.06.2012	I(П), Оп., изн./нагр.	0/0	[8]

<i>№ п/п</i>	<i>Место и тип сооружения</i>	<i>Характери- стика пролетного строения</i>	<i>Год ввода в эксплуата- цию</i>	<i>Дата аварии</i>	<i>Категория отказа</i>	<i>Кол-во погиб- ших/ раненых</i>	<i>Источ- ник</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
139	А/д мост через р. Судость в Брянской обл.	Дерев.	н/д	20.11.2012	I(П), ПС, ПГ	2/0	[8]
140	А/д мост через р. Индоманку в Вологодской обл.	Дерев.	1998	03.07.2018	I(П), ПС, ПГ	0/0	[11]
141	Рабочий мост между Россией и Китаем в Приамурье	Метал. балки	не введен	22.07.2018	I(П), Оп, прир./пав.	0/0	[11]
142	А/д мост через р. Илгань в Кировской обл.	Дерев.	н/д	29.09.2018	I(П), ПС, ПГ	0/0	[11]
143	А/д мост через р. Биджу в Республике Хакасия	н/д	н/д	22.10.2018	I(П), Оп, стр./навод.	0/17	[11]
144	А/д мост через р. Дон в г. Ростове-на-Дону	Понтонный	1988	04.11.2018	I(П), ПС, ПГ	0/0	[11]
145	А/д мост в селе Рыбновск в Сахалинской обл.	Дерев.	н/д	12.12.2019	I(П), изн./нагр.	0/0	[12]
146	А/д мост в дер. Потрохово Нижегородской обл.	Дерев.	н/д	20.10.2021	I(П), изн.	0/0	[12]

Примечания:

а/д – автомобильная дорога; *автодорожный*; *ж/д* – железная дорога; *железнодорожный*.

I(П) – отказ по первому предельному состоянию: полное обрушение всего моста, одного или нескольких его конструктивных частей с полной потерей теоретической возможности проезда или прохода по мосту.

I(Ч) – отказ по первому предельному состоянию: частичное обрушение моста или его конструктивных элементов с сохранением теоретической возможности проезда или прохода по мосту.

II – отказ по второму предельному состоянию: достижение аварийного состояния сооружения, при котором дальнейшая его эксплуатация невозможна.

ПС – пролетное строение; *Оп.* – опора; *БУ* – береговой устой; *Т* – трос; *Тр.* – тротуар; *ОрП* – ортотропная плита проезжей части; *ЖБП* – железобетонная плита проезжей части; *Ц* – цепь; *Ог.* – ограждение; *МП* – мостовое полотно; *ОЧ* – опорная часть.

Основная (обобщенная) причина отказа:

пр. – отказ вызван ошибками проектных решений и изысканий (графа б – через дробь указана сопутствующая причина: *уст.* – потеря устойчивости; *грунт.* – отказ грунтового основания; *КН* – концентраторы напряжений);

прир. – отказ вызван природными воздействиями (графа б – через дробь указано природное явление: *лед.* – ледоход; *нав.* – наводок; *тайф.* – тайфун; *подм.* – подмыв; *вет.* – ветер; *сель* – селевой поток; *штр.* – шторм; *навод.* – наводнение; *t°* – низкие температуры);

стр. – ошибки во время строительства и изготовления, приведшие к отказу сооружения до ввода в эксплуатацию (графа б – через дробь указана сопутствующая причина: *ПП* – ошибки в технологии производства работ, *изг.* – заводской брак, *пож.* – пожар, *уст.* – потеря устойчивости, *тект.* – тектонические процессы, *кран* – ошибки при работе крана);

ДТП – отказ вызван дорожно-транспортным происшествием (графа б – через дробь указана пострадавшая конструкция);

хруп. – отказ вызван хрупкостью материала (графа б – через дробь указана сопутствующая причина: *t°* – воздействие низких температур);

навал – отказ вызван навалом судна;

изн. – отказ вызван недостатками ведения работ по содержанию сооружения (графа б – через дробь указан основной фактор, послуживший причиной износа: *устал.* – усталостные повреждения; *корр.* – коррозионные процессы, *нагр.* – несоблюдение установленной нагрузки; *трещ.* – развитие трещин);

пож. – отказ вызван пожаром;

ПГ – отказ вызван превышением допустимой нагрузки (графа б через дробь указана сопутствующая причина: *рез.* – отказ вызван явлением резонанса).

н/д – нет данных о причине отказа.



Рис. 1. Распределение отказов по категориям предельных состояний

Такое распределение аварий вызывает ряд вопросов, так как зачастую отказ по второму предельному состоянию предшествует отказу по первому предельному состоянию. Соответственно, часть рассмотренных аварий по первому предельному состоянию могла быть также отнесена к отказам по второму предельному состоянию. Кроме того, можно заключить, что большая часть отказов по первому предельному состоянию является следствием человеческой ошибки на стадии эксплуатации, а именно несвоевременного выявления отказов по второму предельному состоянию или игнорирования таких отказов и продолжения дальнейшей эксплуатации. Еще одним фактором, из-за которого количество отказов по второму предельному состоянию может быть занижено, является недостаточность оповещения о них. Такие отказы обычно не вызывают общественный резонанс, не освещаются в СМИ и отражаются только в профессиональной документации, что затруднило получение необходимой информации в рамках проведения данного исследования.

На **рис. 2** представлено распределение отказов по основным причинам их возникновения для капитальных сооружений. Основными причинами являются: природные воздействия – 41 %; ошибки ведения работ по содержанию сооружения – 19 %; ошибки во время строительства и изготовления, приведшие к отказу сооружения до ввода в эксплуатацию – 12 %; превышение допустимой нагрузки – 12 %; дорожно-транспортные происшествия (ДТП), в результате которых было оказано

воздействие на конструктивные элементы сооружения – 11 %; запроек-
 тный навал судов – 2 %; ошибки проектно-изыскательских работ – 1,8 %;
 неизвестные причины – 0,6 %.

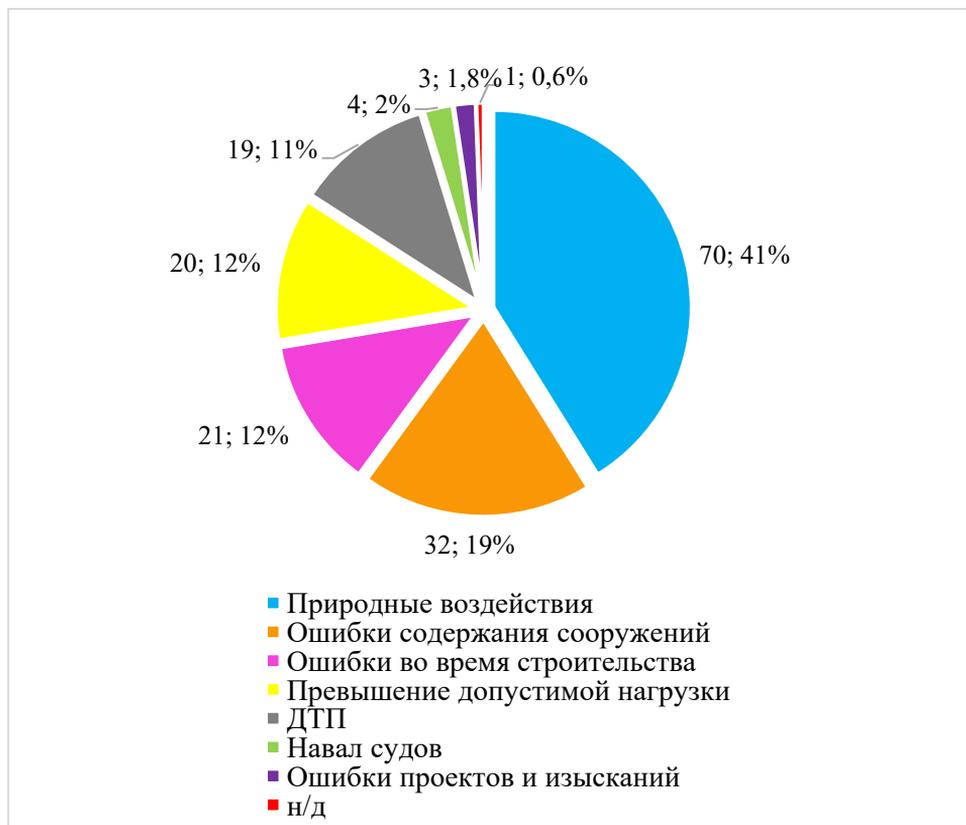


Рис. 2. Распределение аварий по основным причинам их возникновения

Кроме обзора конкретных 121 случая отказов капитальных и 25 случаев отказов некапитальных сооружений, был проведен анализ предыдущих подобных исследований – как российских, так и зарубежных специалистов. По данным [14], причиной 40 % аварий на мостовых сооружениях являются ошибки, допущенные на стадии эксплуатации; 15 % – ошибки на стадии строительства; 6 % – ошибки на стадии проектирования; остальные 39 % – непредвиденные обстоятельства. В статье [10] автор относит 60 % причин аварий мостов к природным воздействиям; 30 % – к дефектам проектирования и строительства; 10 % – к ошибкам во время эксплуатации. Авторы статьи [15] 60 % аварий относят к катастрофам по причине размывов; 13 % аварий – к ДТП,

10 % аварий – к перегрузкам; 4 % – к износу; 3 % – к естественному старению материала; 3 % – к пожарам; 2 % – к землетрясениям; 5 % – к другим причинам.

В публикации об обрушениях мостов в США в период с 1951 по 1988 гг. [16] представлен обзор 114 аварий. При этом 92 аварии относят к случаям полного обрушения, а 22 – частичного. По причинам возникновения аварий установлено следующее: 44 % – воздействия, вызванные антропогенным фактором; 26 % – природные явления; 20 % – превышение допустимой нагрузки; 6 % – износ; менее 1 % – перетирание несущего кабеля; 3 % – другое.

В статье об обрушениях мостов в США с 1989 по 2000 гг. [17] возникновение 53 % аварий относят к воздействиям воды; 12 % – к ДТП; 9 % – к перегрузкам; 8,5 % – к износу; 3,4 % – к землетрясениям; 3 % – к пожарам; 2,5 % – к ошибкам во время строительства; 2 % – к ледоходу; 1 % – к усталости стали; 0,6 % – к ошибкам проектирования; 0,6 % – к потере несущей способности грунтов; 0,4 % – к стихийным бедствиям (шторм, ураган, цунами); 4 % – к другим причинам.

В техническом отчете об авариях мостов в США 1980-2012 гг. [18] возникновение 21 % аварий относят к размывам; 20 % – к ударным воздействиям; 16 % – к наводнениям; 14 % – к превышению допустимой нагрузки; 12% – к внутренним причинам; 9% – к агрессивному воздействию окружающей среды; 5% – к воздействиям пожаров; 3% – к воздействиям ветра и менее 1% – к землетрясениям.

В публикации об отказах мостов во Вьетнаме [19] приведен обзор, касающийся 53-х вышедших из строя мостов. Указано, что причинами 37 % аварий являются природные воздействия; 22 % – проектные ошибки; 19 % – ошибки на стадии эксплуатации; 14 % – ошибки во время строительства; 7 % – ошибки во время проведения ремонтных работ и реконструкции; 1 % – к использованию неподходящих материалов.

На основе статистических данных, полученных в ходе проведенного исследования аварий мостов в России и за рубежом, можно заключить, что основными причинами аварий мостовых сооружений являются природные факторы и ошибки на стадии эксплуатации; кроме того, большое количество аварий происходит из-за ошибок во время строительства, из-за ДТП и других непредвиденных обстоятельств, а также из-за превышения допустимой нагрузки.

Сравнивая результаты данного и предыдущих исследований [10, 14-19], можно найти различия в процентном соотношении причин аварий, что может быть обусловлено следующим:

- Разной классификацией причин. Так, в исследовании автора в отдельные группы выделены аварии из-за ДТП, перегрузки, а также

неконтролируемого износа, при этом все эти причины можно объединить в одну группу ошибок на стадии эксплуатации.

- Сложностями в нахождении первопричины аварии. Зачастую отказ сооружения происходит не по одной причине, а вследствие их совокупности. Наиболее дискуссионным и субъективным является отказ по причине природных явлений, так как, с одной стороны, можно провести прямую зависимость между природным явлением и отказом сооружения. С другой стороны, можно провести косвенную зависимость между неподготовленностью сооружения к данному явлению и самим отказом. Таким образом, учитывая, что мостовые сооружения созданы человеком, можно все природные отказы отнести к группе причин, связанных с человеческим фактором.

Определение причин аварий – очень сложный процесс, и в каждом отдельном случае требуется проведение специального расследования. В зарубежной литературе, например, в техническом отчете [18] приводится разделение причин отказов сооружений на три группы: внутренние причины (разрешающие), внешние причины (запускающие), каскадные (прогрессирующие) обрушения. Внутренние причины обуславливают отказ вследствие несовершенства конструкции. Из-за внешних причин запускается сам процесс отказа при воздействии на слабые элементы самого сооружения. Каскадные обрушения – это отказы различных элементов сооружения вследствие предшествующего отказа взаимосвязанного с ними элемента. Обзор и описание внутренних и внешних причин представлен в **табл. 2** (по данным [18]).

Таким образом, каждая отдельная авария мостового сооружения включает в себя совокупность причин, поэтому в процессе разработки предложений и внедрения рекомендаций по снижению аварийности мостовых конструкций должны быть задействованы все организации, имеющие непосредственное отношение как конструктивной безопасности сооружений, так и к безопасности дорожного движения на мостах. Очевидно, что цель проектных и научных институтов состоит в предотвращении первичных факторов и разработке решений, направленных на увеличение надежности строительных конструкций. В то же время предотвращение вторичных факторов – это задача дорожных служб законодательного аппарата.

Первичные и вторичные причины отказов мостовых сооружений

<i>Обозначение</i>	<i>Причина</i>	<i>Описание</i>
<i>Разрешающие причины</i>		
<i>E1</i>	Ошибки проектирования	Расчетные и принципиальные ошибки, неправильный выбор конфигурации, недостатки конструкции
<i>E2</i>	Ошибки изготовления	Превышение допусков, отклонение от проектной концепции, нарушение технологии
<i>E3</i>	Ошибки строительства и монтажа	Низкое качество монтажа, неправильная установка, нарушение технологии производства работ
<i>E4</i>	Ошибки эксплуатации	Отсутствие или низкое качество технического обслуживания и мониторинга состояния сооружения
<i>E5</i>	Характеристики материалов	Несоответствие характеристик материалов проектным требованиям
<i>Запускающие причины</i>		
<i>T1</i>	Природные воздействия	Наводнение, паводок, размыв, шторм, корчеход, ледоход, ветер, землетрясение
<i>T2</i>	Ударное воздействие	ДТП, аварии с участием поездов, навал судов
<i>T3</i>	Превышение допустимой нагрузки	Проход большегрузного транспорта; превышение допустимой массы дорожной одежды
<i>T4</i>	Деградация материалов	Усталостные деформации, коррозия металла и бетона

Одним из способов уменьшения вероятности отказа строительного объекта является процесс корректировки и внесения изменений в нормативные документы. При детальном рассмотрении некоторых аварий основной первичной причиной является несоответствие нормативных значений нагрузок их фактическим величинам. Такие причины можно трактовать как ошибки из-за несоблюдения строительных законов и классифицировать дополнительным обозначением E0 (табл. 2), так и отнести к частному случаю ошибок проектирования (но не ошибкой конкретного исполнителя). Такие внутренние причины

зачастую служат предпосылками отказов из-за природных явлений. Одним из наиболее наглядных примеров такого отказа можно отметить нарушение работы Волгоградского моста из-за чрезмерных колебаний его конструкции [20]. Первый вывод о возникновении отказа был сделан на основе данных о низкой частоте собственных колебаний моста, сопоставимой с частотой срыва вихрей. Однако после разбора причин отказа С.И. Дубинским было определено [21], что метеостанция, на основании показаний которой были приняты показания ветра для строительных норм в данном регионе, располагалась в местности, закрытой горами от сильных ветров, в то время как сам мост располагался на открытом участке. Вследствие этого необходимое значение ветрового воздействия не могло быть учтено. Подобные отказы мостов часто возникают в случаях, когда фактический объем паводковых вод превышает расчетный. Такие случаи свидетельствуют о несовершенстве норм, что дополнительно снижает надежность сооружения.

Основной задачей проектирования и расчета мостовых сооружений является обеспечение его безопасности и долговечности, что предъявляет высокие требования к его проектной надежности. Согласно действующим нормам расчета мостовых сооружений [22], обеспеченность как расчетных значений, так и расчетных нагрузок соответствует их отклонению на три стандарта, т. е. равна: $P = 0,9986$. С учетом вероятностной оценкой надежности мостов [23], можем получить нижнюю и верхнюю границы надежности (гарантию неразрушимости):

$$\Gamma = 0,9972 \div 1 - 2 \cdot 10^{-6} . \quad (1)$$

Текущий показатель надежности может соблюдаться только в случаях, когда нормами учтены все нагрузки и воздействия на сооружение, качества материалов удовлетворяют интервалу обеспеченности, а погрешности во время изготовления и монтажа не превышают нормативных значений. На практике, учитывая вероятность вышеописанных рисков и естественный износ сооружения, показатель надежности оказывается ниже.

Для решения задач по обеспечению надежности мостовых сооружений в последние годы разработаны своды правил, стандарты и отраслевые методические рекомендации. В частности, СП 79.13330.2012 «*Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний*» и ГОСТ 33161 «*Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации искусственных сооружений на автомобильных дорогах (Переиздание)*», обязательные к применению при проведении диагностических обследований, испытаний и паспортизации. Кроме того, имеются отраслевые документы рекомендательного

характера, регламентирующие состав и объемы работ, проводимых в период содержания, и направленные на обеспечение эксплуатационных качеств сооружений, в том числе ОДМ 218.3.014-2011 «Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах»; серия ОДМ с 218.4.025-2016 по 218.4.029-2016 «Рекомендации по определению грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования»; ОДМ 218.4.001-2008 «Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах»; ОДМ 218.5.009-2017 «Технология магнитной диагностики предварительно напряженной арматуры и оценки технического состояния железобетонных балок мостовых сооружений»; ОДМ 218.6.030-2017* «Рекомендации по установлению гарантийных сроков и сроков службы конструктивных элементов мостовых сооружений». Кроме того, имеются документы, позволяющие учесть особые воздействия, например, СП 292.1325800.2017 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах».

В рамках рассмотренного авторского исследования был также проведен анализ существующих методик оценки вероятности отказа строительных конструкций. В работе [24] приводится пошаговый алгоритм анализа опасностей технологических процессов с применением методов HAZOP/HAZID/FMEA без определения конкретных количественных значений риска. В публикации [25] тем же автором рассмотрен подробный расчет отказа 42-метровой главной балки пролетного строения автодорожного моста. По результатам расчета получены кривые изменения надежности во времени. Данный алгоритм может применяться для формирования модели изменения надежности во времени, однако он позволяет учитывать лишь работу конструкции в нормальном режиме эксплуатации.

Традиционные методы оценки надежности учитывают только безотказную работу сооружения под воздействием проектных нагрузок и определяют повышение вероятности отказа только из-за износа конструкции или вследствие увеличения проектных нагрузок. Такой подход не позволяет учитывать непредвиденные запроектные воздействия при расчете сооружения.

Для определения надежности может использоваться методика случайных отказов с целью определения влияния отдельных частей сооружения на работу всей конструкции в целом. В [22, п. 5.35] отмечается необходимость использования конструктивной схемы сооружения, устойчивой к прогрессирующему обрушению, что далее упоминается в приложении 7 [22], в котором отсутствие прогрессирующего обрушения является критерием условия живучести мостового сооружения. Согласно

[26, п 5.2.6], расчет на прогрессирующее обрушение обязательно производится для зданий и сооружений класса КС-3, к которому относятся в том числе мостовые сооружения с пролетом более 200 метров. В действующей нормативной базе имеется свод правил по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения [27], однако, согласно п. 1.2, его область применения не распространяется на транспортные объекты. Таким образом, это свидетельствует о необходимости разработки методики, позволяющей учесть вероятность случайных отказов элементов мостовых сооружений. Следует отметить, что вышеупомянутая методика подвергается критике в научном сообществе, так как в ней не учтены внешние причины отказов.

К одной из важных работ для оценки риска прогрессирующего обрушения можно отнести [30], в которой представлена бальная система определения риска отказа конструкции, с учетом различных особенностей конструктивной схемы, принятия превентивных мер, возможности возникновения негативных событий. Однако поскольку данная методика разработана для зданий, то не представляется возможным ее применять при оценке надежности мостов.

В работе [31] описана методика определения надежности сооружения на основании поврежденности каждого элемента сооружения и коэффициента его значимости в работе всей конструкции. Такой подход позволяет учесть непредвиденные события, однако основная трудность заключается в назначении коэффициентов значимости отдельных элементов, поскольку автором отмечено отсутствие четких рекомендаций для выполнения такой задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам рассмотренного исследования дан анализ отказов искусственных сооружений, что позволило установить и классифицировать причины таких отказов и выявить наиболее уязвимые элементы транспортных сооружений. Сделан вывод о необходимости разработки новой методики оценки надежности конструкций мостов и вероятности отказа конструктивных элементов, для предупреждения недостатков, указанных в рассмотренных источниках. Отмечается целесообразность использования в качестве основы методики случайных отказов для прогнозирования эксплуатационной пригодности мостов и других транспортных сооружений в период их длительной эксплуатации, а также разработки ряда технологических и конструктивных предложений на стадии подготовки проектных решений и выполнения работ по содержанию сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистическая отчетность Федерального дорожного агентства (Росавтодор) по состоянию на 1 января 2021 года [Электронный ресурс]: Официальный сайт ФДА (Росавтодор). – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravlenie-stroitelstva-avtomobilnykh-dorog/statisticheskaya-otchetnost-napravlenneya-v-rosstat/439191> (дата обращения: 15.03.2022).
2. Майстренко И.Ю. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 / И.Ю. Майстренко, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, А.В. Кокодеев // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2017. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.15862/13TS417.
3. Овчинников И.Г. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, И.Ю. Майстренко, А.В. Кокодеев // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2017. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.15862/14TS417.
4. Майстренко И.Ю. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 3 / И.Ю. Майстренко, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, А.М. Успанов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – Т. 5, № 1. – DOI: 10.15862/08SATS118.
5. Платонов А.С. Уроки аварий металлических конструкций мостов / А.С. Платонов // Транспортное строительство. – 2009. – № 6. – С. 6-9.
6. Овчинников И.И. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4 / И.И. Овчинников, И.Ю. Майстренко, И.Г. Овчинников, А.М. Успанов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – Т. 5, № 1. – DOI: 10.15862/05SATS118.
7. Статистика аварий мостов в России и СНГ за 5 лет [Электронный ресурс]: Живой журнал. – Режим доступа: <https://avkozlov.livejournal.com/5106.html> (дата обращения: 12.04.2022).
8. Аварии в строительстве. Тип строения «Различные сооружения» [Электронный ресурс]: Аварии в строительстве. – Режим доступа: <http://bcrash.ru/?cat=6> (дата обращения: 12.04.2022).
9. Обрушение путепровода в «Северном»: один погиб [Электронный ресурс]: Городской портал Красноярск онлайн. – Режим доступа: <https://ngs24.ru/text/gorod/2013/10/17/1449628/> (дата обращения: 12.04.2022).

10. *Подробности обрушения моста в Минусинске: пострадали шесть человек, один в тяжелом состоянии [Электронный ресурс]: Издательский дом «Комсомольская правда». – Режим доступа: <https://www.krsk.kp.ru/daily/26503.1/3372538/> (дата обращения: 12.04.2022).*
11. *Тотальный мостопад. Хроника и причины обрушения мостов в России [Электронный ресурс]: Живой журнал. – Режим доступа: <https://storm100.livejournal.com/5749652.html> (дата обращения: 12.04.2022).*
12. *С начала года в России обрушилось 5 транспортных мостов. [Электронный ресурс]: Информационное агентство «РЖД-Партнер.ру». – Режим доступа: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/comments/s-nachala-goda-v-rossii-obrushilos-5-transportnykh-mostov/> (дата обращения: 12.04.2022).*
13. *В Дагестане обрушился мост [Электронный ресурс]: Сетевое издание «РИА Новости». – Режим доступа: <https://ria.ru/20210315/most-1601203173.html> (дата обращения: 12.04.2022).*
14. *При обрушении пешеходного моста под Екатеринбургом погиб человек [Электронный ресурс]: Сетевое издание «РИА Новости». – Режим доступа: <https://ria.ru/20200929/obrushenie-1577961889.html> (дата обращения: 12.04.2022).*
15. *В Екатеринбурге обрушился пешеходный мост [Электронный ресурс]: РИА Новости. – Режим доступа: <https://ria.ru/20210424/most-1729802338.html> (дата обращения: 12.04.2022).*
16. *Дергунов С.А. Аварии мостовых сооружений и их причины / С.А. Дергунов, А.Б. Сатюков, А.Ю. Спирина, С.В. Сериков // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. – 2019. – № 2 (64). – С. 289-294.*
17. *Андрианов Ю.А. Актуальность проблемы эксплуатационной надежности мостов / Ю.А. Андрианов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 2(37). – С. 77-81.*
18. *Harik I.E. United States bridge failures, 1951-1988 / I.E. Harik, A.M. Shaaban, H. Gesund, Y.S. Valli, S.T. Wang // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 1990. – № 4(4). – P. 272-277.*
19. *Wardhana K. Analysis of Recent Bridge Failures in the United States / K. Wardhana, F.C. Hadipriono // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 2003. – № 17 (4). – P. 144-150.*

20. Huang C. *A Study of U.S. Bridge Failures (1980-2012)* / C. Huang, G.C. Lee, S.B. Mohan, B.N. Fard // *University at Buffalo, The State University of New York for MCEER Earthquake engineering of extreme events* – 2013. – 148 p.
21. Cau B.T. *An Overview of Bridge Failures in Vietnam* / B.T. Cau, N.H. Thap, P.V. Khoi // *Conference: Third Forensic Engineering Congress*. – 2003. – P. 415-422.
22. Овчинников И.И. *Насколько уникальны колебания Волгоградского моста?* / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, В.О. Филиппова // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. – 2015. – № 6 (14). – С. 81-91.
23. Дубинский С.И. *Цифровые двойники конструкций зданий и мостов с использованием метеоданных и результатов численного моделирования аэродинамики и динамики* / Доклад на Международном Форуме конструкторов-строителей и инженеров расчётчиков ИНТЕРКОНСТРОЙ-2021 в рамках Международного строительного форума и выставки 100+ TechnoBuild [Электронный ресурс]: Облачный сервис «Яндекс Диск». – Режим доступа: <https://disk.yandex.ru/d/fqyiUMgt1KH8JQ/3.8/07.10%20-%20ИНТЕРКОНСТРОЙ-2021/16%3A30%20-%20Цифровое%20моделирование%2C%20строительная%20аэродинамика%2C%20расчетно-экспериментальные%20исследования> (дата обращения: 12.04.2022).
24. СП 35.13330.2011 *Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84** (с Изменениями № 1, 2, 3). Официальное издание. Минрегион России. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 347 с.
25. Васильев А.И. *Основы теории надежности мостов* / А.И. Васильев. – М.: МАДИ, 2021. – 96 с.
26. Гусев А.А. *К вопросу минимизации рисков при эксплуатации мостовых сооружений* / А.А. Гусев, И.Ю. Майстренко // *Техника и технология транспорта*. – 2019. – № 11. – [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-45ETC19.pdf>. (дата обращения: 12.04.2022).
27. Майстренко И.Ю. *Моделирование процесса изменения во времени уровня надежности конструктивной системы* / И.Ю. Майстренко, А.З. Манапов // *Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2010. – № 1 (13). – С. 132-140.
28. ГОСТ 27751-2014 *Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (Переиздание)*. – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с.

29. СП 385.1325800.2018 *Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с Изменением № 1)*. М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
30. Ведяков И.И. *Разработка методики оценки риска прогрессирующего обрушения* / И.И. Ведяков, Д.В. Соловьев // *Вестник НИЦ «Строительство»*. – 2021. – № 1 (28). – С. 5-15.
31. Евтушенко С.И. *К вопросу об остаточном ресурсе длительно эксплуатируемых мостов через водопроводящие каналы* / С.И. Евтушенко, М.П. Крахмальная, Т.А. Крахмальный // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура*. – 2014. – № 35 (54). – С. 166-170.

L I T E R A T U R A

1. *Statisticheskaya otchetnost' Federal'nogo dorozhnogo agentstva (Rosavtodor) po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2021 goda [Elektronnyj resurs]*: Oficial'nyj sayt FDA (Rosavtodor). – Rezhim dostupa: <https://rosavtodor.gov.ru/about/upravlenie-fda/upravleniestroitelstva-avtomobilnykh-dorog/statisticheskaya-otchetnost-napravlenneya-v-rosstat/439191> (data obrashcheniya: 15.03.2022).
2. Majstrenko I.Yu. *Avarii i razrusheniya mostovykh sooruzhenij, analiz ih prichin. Chast' 1* / I.YU. Majstrenko, I.I. Ovchinnikov, I.G. Ovchinnikov, A.V. Kokodeev // *Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya»*. – 2017. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.15862/13TS417.
3. Ovchinnikov I.G. *Avarii i razrusheniya mostovykh sooruzhenij, analiz ih prichin. Chast' 2* / I.G. Ovchinnikov, I.I. Ovchinnikov, I.Yu. Majstrenko, A.V. Kokodeev // *Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya»*. – 2017. – Т. 4, № 4. – DOI: 10.15862/14TS417.
4. Majstrenko I.Yu. *Avarii i razrusheniya mostovykh sooruzhenij, analiz ih prichin. Chast' 3* / I.Yu. Majstrenko, I.I. Ovchinnikov, I.G. Ovchinnikov, A.M. Usanov // *Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya»*. – 2018. – Т. 5, № 1. – DOI: 10.15862/08SATS118.
5. Platonov A.S. *Uroki avarij metallicheskih konstrukcij mostov* / A.S. Platonov // *Transportnoe stroitel'stvo*. – 2009. – № 6. – С. 6-9.
6. Ovchinnikov I.I. *Avarii i razrusheniya mostovykh sooruzhenij, analiz ih prichin. Chast' 4* / I.I. Ovchinnikov, I.Yu. Majstrenko, I.G. Ovchinnikov, A.M. Usanov // *Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya»*. – 2018. – Т. 5, № 1. – DOI: 10.15862/05SATS118.
7. *Statistika avarij mostov v Rossii i SNG za 5 let [Elektronnyj resurs]*: Zhivoj zhurnal. – Rezhim dostupa: <https://avkozlov.livejournal.com/5106.html> (data obrashcheniya: 12.04.2022).

8. *Avarii v stroitel'stve. Tip stroeniya «Razlichnye sooruzheniya» [Elektronnyj resurs]: Avarii v stroitel'stve. – Rezhim dostupa: <http://bcrash.ru/?cat=6> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
9. *Obrushenie puteprovoda v «Severnom»: odin pogib [Elektronnyj resurs]: Gorodskoj portal Krasnoyarsk onlajn. – Rezhim dostupa: <https://ngs24.ru/text/gorod/2013/10/17/1449628/> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
10. *Podrobnosti obrusheniya mosta v Minusinske: postradali shest' chelovek, odin v tyazhelom sostoyanii [Elektronnyj resurs]: Izdatel'skij dom «Komsomol'skaya pravda». – Rezhim dostupa: <https://www.krsk.kp.ru/daily/26503.1/3372538/> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
11. *Total'nyj mostopad. Hronika i prichiny obrusheniya mostov v Rossii [Elektronnyj resurs]: Zhivoj zhurnal. – Rezhim dostupa: <https://storm100.livejournal.com/5749652.html> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
12. *S nachala goda v Rossii obrushilos' 5 transportnyh mostov. [Elektronnyj resurs]: Informacionnoe agentstvo «RZHD-Partner.ru». – Rezhim dostupa: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/comments/s-nachala-goda-v-rossii-obrushilos-5-transportnykh-mostov/> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
13. *V Dagestane obrushilsya most [Elektronnyj resurs]: Setevoe izdanie «RIA Novosti». – Rezhim dostupa: <https://ria.ru/20210315/most-1601203173.html> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
14. *Pri obrushenii peshekhodnogo mosta pod Ekaterinburgom pogib chelovek [Elektronnyj resurs]: Setevoe izdanie «RIA Novosti». – Rezhim dostupa: <https://ria.ru/20200929/obrushenie-1577961889.html> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
15. *V Ekaterinburge obrushilsya peshekhodnyj most [Elektronnyj resurs]: RIA Novosti. – Rezhim dostupa: <https://ria.ru/20210424/most-1729802338.html> (data obrashcheniya: 12.04.2022).*
16. *Dergunov S.A. Avarii mostovyh sooruzhenij i ih prichiny / S.A. Dergunov, A.B. Satyukov, A.Yu. Spirina, S.V. Serikov // Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arhitektury im. N. Isanova. – 2019. – № 2 (64). – S. 289-294.*
17. *Andrianov Yu.A. Aktual'nost' problemy ekspluatacionnoj nadezhnosti mostov / Yu.A. Andrianov // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-versiteta (MADI). – 2014. – № 2 (37). – S. 77-81.*
18. *Harik I.E. United States bridge failures, 1951-1988 / I.E. Harik, A.M. Shaaban, H. Gesund, Y.S. Valli, S.T. Wang // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 1990. – № 4 (4). – P. 272-277.*

19. Wardhana K. *Analysis of Recent Bridge Failures in the United States* / K. Wardhana, F.C. Hadipriono // *Journal of Performance of Constructed Facilities*. – 2003. – № 17 (4). – P. 144-150.
20. Huang C. *A Study of U.S. Bridge Failures (1980-2012)* / C. Huang, G.C. Lee, S.B. Mohan, B.N. Fard // *University at Buffalo, The State University of New York for MCEER Earthquake engineering of extreme events* – 2013. – 148 p.
21. Cau B.T. *An Overview of Bridge Failures in Vietnam* / B.T. Cau, N.H. Thap, P.V. Khoi // *Conference: Third Forensic Engineering Congress*. – 2003. – P. 415-422.
22. Ovchinnikov I.I. *Naskol'ko unikal'ny kolebaniya Volgogradskogo mosta?* / I.I. Ovchinnikov, I.G. Ovchinnikov, V.O. Filippova // *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. – 2015. – № 6 (14). – S. 81-91.
23. Dubinskij S.I. *Cifrovye dvojniki konstrukcij zdaniy i mostov s ispol'zovaniem metoodannyh i rezul'tatov chislennogo modelirovaniya aerodinamiki i dinamiki* / *Doklad na Mezhdunarodnom Forume konstruktorov-stroitelej i inzhenerov raschyotchikov INTERKONSTROJ-2021 v ramkah Mezhdunarodnogo stroitel'nogo foruma i vystavki 100+ TechnoBuild [Elektronnyj resurs]: Oblachnyj servis «Yandeks Disk»*. – Rezhim dostupa: <https://disk.yandex.ru/d/fqyiUMgt1KH8JQ/3.8/07.10%20-%20INTERKONSTROJ-2021/16%3A30%20-%20Cifrovoe%20modelirovanie%2C%20stroitel'naya%20aerodinamika%2C%20raschetno-eksperimental'nye%20issledovaniya> (data obrashcheniya: 12.04.2022).
24. SP 35.13330.2011 *Mosty i truby. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.05.03-84* (s Izmeneniyami № 1, 2, 3). Oficial'noe izdanie. Minregion Rossii*. – M.: OAO «CPP», 2011. – 347 s.
25. Vasil'ev A.I. *Osnovy teorii nadezhnosti mostov* / A.I. Vasil'ev. – M.: MADI, 2021. – 96 s.
26. Gusev A.A. *K voprosu minimizacii riskov pri ekspluatacii mostovyh sooruzhenij* / A.A. Gusev, I.Yu. Majstrenko // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. – 2019. – № 11. – [Elektronnyj resurs]– Rezhim dostupa: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-45ETC19.pdf>. (data obrashcheniya: 12.04.2022).
27. Majstrenko I.Yu. *Modelirovanie processa izmeneniya vo vremeni urovnya nadezhnosti konstruktivnoj sistemy* / I.Yu. Majstrenko, A.Z. Manapov // *Izvestiya kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. – 2010. – № 1 (13). – S. 132-140.
28. GOST 27751-2014 *Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozheniya (Pereizdanie)*. – M.: Standartinform, 2019. – 19 s.

29. SP 385.1325800.2018 Zashchita zdanij i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozeniya (s Izmeneniem № 1). M.: Standartinform, 2018. – 24 s.
30. Vedyakov I.I. Razrabotka metodiki ocenki riska progressiruyushchego obrusheniya / I.I. Vedyakov, D.V. Solov'ev // Vestnik NIC «Stroitel'stvo». – 2021. – № 1 (28). – S. 5-15.
31. Evtushenko S.I. K voprosu ob ostatochnom resurse dlitel'no ekspluatiruemyh mostov cherez vodoprovodyashchie kanaly / S.I. Evtushenko, M.P. Krahmал'naya, T.A. Krahmал'nyj // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arhitektura. – 2014. – № 35 (54). – S. 166-170.

.....

**ANALYSIS OF BRIDGE ACCIDENTS AND FAILURES
IN THE RUSSIAN FEDERATION**

*Ph. D. (Tech.) I.Ya. Bogdanov,
Postgraduate V.A. Rudskikh
(Siberian Federal University (SFU))
Contact information: v.rudskikh@yandex.ru*

The article provides a list of unsafe conditions and failures of bridge structures operated on the roads of the Russian Federation. The reasons and nature of the impacts causing the loss of operational qualities by structures are analyzed. The cause-and-effect link of failures of some structure elements is revealed. The recent methods for assessing unsafe conditions are analyzed. The directions in solving problems to ensure the level of operational reliability and durability of structures are determined.

Key words: bridge, reliability, failure, accident, durability, safety.

Рецензент: канд. техн. наук М.И. Шейнцвит (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 14.03.2022 г.