Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2018, №1, Том 5 / 2018, No 1, Vol 5 <https://t-s.today/issue-1-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf>

DOI: 10.15862/05SATS118 (<http://dx.doi.org/10.15862/05SATS118>)

Статья поступила в редакцию 30.01.2018; опубликована 23.03.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №1, <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05SATS118

For citation:

Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Yu., Ovchinnikov I.G., Uspanov A.M. (2018). Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 4. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/05SATS118

УДК 624.04

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия¹
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgeart@mail.ru

Майстренко Игорь Юрьевич

ФГБОУ «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Казань, Россия
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: igor_maystr@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

Успанов Амергалей Марзагалеевич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Аспирант
E-mail: u.a.-91@mail.ru

Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4

Аннотация. В статье отмечается, анализ аварий и разрушений мостовых сооружений должен способствовать накоплению и положительного и отрицательного опыта у специалистов по проектированию, строительству и эксплуатации мостовых сооружений, а также давать весьма ценный материал для научных исследований и обобщений. Проведение тщательного расследования и анализа с целью выявления реальных причин наступления аварийных ситуаций и разрушения мостовых сооружений позволит в дальнейшем уточнить и нормативные

¹ 410054, Саратов, Политехническая 77

и расчетные нагрузки на мостовые сооружения, четче определить другие внешние факторы, оказывающие воздействие на мостовые сооружения с целью построения и анализа более корректных расчетных моделей мостовых сооружений, разработки более совершенных методов расчета сооружений. Современные технологические достижения позволили человеку проектировать и строить более сложные и грандиозные, чем раньше, мостовые сооружения, которые, по иронии судьбы, кажутся еще более уязвимыми, чем старые мосты, некоторые из которых по-прежнему эксплуатируются сегодня. Мосты разрушаются из-за неожиданных или необычных обстоятельств, и важность таких отказов не следует воспринимать легкомысленно. Способность мостового сооружения выдерживать такие обстоятельства называется структурной устойчивостью; эту характеристику необходимо учитывать при проектировании и строительстве мостовых сооружений. Далее в работе рассматриваются оставшиеся в базе данных примеры аварий и разрушений мостов с элементами их анализа.

В заключении указывается, что при анализе примеры аварий мостовых сооружений были объединены в следующие группы: вызванные недоучетом ветровой нагрузки и аэродинамической неустойчивостью; вызванные потерей устойчивости элементов; из-за ошибок в технологии ведения строительно-монтажных и ремонтных работ; вызванные перегрузкой несущих конструкций; наступившие вследствие резонанса или усталости материала; наступившие вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды; вследствие недостаточной надежности и расстройства соединений; по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки; по причине отсутствия технического надзора; вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений; по причине навала судов на опоры мостов; по причине воздействий на конструкции моста экстремальных (форс-мажорных) нагрузок; вызванные ошибками в расчетах, использованием некачественного материала.

Ключевые слова: мост; транспортные сооружения; авария; разрушение моста; обрушение мостовых конструкций; безопасность эксплуатации; примеры аварий мостов; прогрессирующее разрушение мостов

Введение

Данная статья является продолжением статей [1], [2] и [3], в которых на основе анализа результатов, приведенных авторами работ [4-9] были сформулированы соображения о природе аварий транспортных сооружений и необходимости изучения причин наступления аварийных ситуаций. Также на основе материалов статьи [5] были сформулированы соображения по повышению безопасности транспортных сооружений.

Затем в статье [1] был приведен краткий обзор российских и иностранных публикаций по авариям мостовых сооружений и рассмотрены примеры аварий мостов, основными причинами которых были: недоучет ветровой нагрузки и аэродинамическая неустойчивость; потеря устойчивости элементов; ошибки в технологии ведения строительно-монтажных и ремонтных работ.

В статье [2] отмечалось, что значительная часть аварий и обрушений носит прогрессирующий характер, но в России проблемы прогрессирующего разрушения исследуются пока только применительно к зданиям и сооружениям промышленного и гражданского назначения, но практически не рассматривается прогрессирующее разрушение мостовых сооружений. Указывалось, что в СП 35.13330.2011 содержится требование по недопущению прогрессирующего обрушения мостов, но о том, как это требование применительно к мостам выполнить ни слова. Затем в [2] приводились соображения А.В.

Перельмутера о прогрессирующем обрушении в виде пяти тезисов: 1) следует считаться с возможностью появления локальных отказов конструктивной системы; полная защита от них принципиально невозможна; 2) Наиболее опасным из возможных последствий является цепное развитие разрушений (эффект домино); 3) анализ происхождения чрезвычайной ситуации расширяет возможности проектировщика; 4) многие их исходных процессов связаны с динамическими эффектами; 5) если цепное развитие процесса неизбежно, то основной задачей становится его локализация и управление последствиями.

В завершение статьи [2] приводились примеры разрушения мостовых сооружений, вызванных перегрузкой несущих конструкций, возникновением резонанса или усталостью материала, вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды.

В статье [3] отмечается, что инженеры стараются избегать наступления аварийных ситуаций в мостовых сооружениях, а в случае разрушения исследуют причины наступления аварийных ситуаций и разрабатывают способы предотвращения таких случаев. При разработке более новых нормативных документов, обеспечивающих проектирование более безопасных мостовых сооружений, используется наработанный опыт анализа ошибок, приведших к авариям и разрушению мостов различных типов.

Далее в этой статье приводится классификация особых (аварийных) воздействий согласно Национальному приложению к Еврокоду EN 1991-1-7.

В завершающей части статьи [3] приводятся примеры аварий мостовых сооружений вследствие недостаточной надежности и расстройств соединений; аварий по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки; аварий по причине отсутствия технического надзора; аварий вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений.

В данной статье перечень примеров аварий и разрушений мостовых сооружений будет продолжен и завершен.

1. Состояние проблемы и постановка задачи

Анализ аварий и разрушений мостовых сооружений должен способствовать накоплению и положительного и отрицательного опыта у специалистов по проектированию, строительству и эксплуатации мостовых сооружений, а также давать весьма ценный материал для научных исследований и обобщений.

Проведение тщательного расследования и анализа с целью выявления реальных причин наступления аварийных ситуаций и разрушения мостовых сооружений позволит в дальнейшем уточнить и нормативные и расчетные нагрузки на мостовые сооружения, четче определить другие внешние факторы, оказывающие воздействие на мостовые сооружения с целью построения и анализа более корректных расчетных моделей мостовых сооружений, разработки более совершенных методов расчета сооружений. Это также позволит разрабатывать более устойчивые к разрушению конструктивные формы элементов сооружений более эффективные способы защиты сооружений от внешних воздействий, способы управления состоянием и поведением мостовых сооружений в зависимости от действующих на них факторов.

Материал, изложенный в предыдущих трех частях настоящей статьи, позволяет утверждать, что аварийные ситуации на различных стадиях жизненного цикла мостовых сооружений происходили в прошлом, происходят в настоящем и будут происходить в будущем. Однако исследование этих аварий в большинстве случаев не выходило за рамки служебных

материалов и практически не сказывалось на повышении качества проектирования, качестве изготовления конструкций мостовых сооружений, качестве их монтажа и тем более качестве эксплуатации. И хотя в последнее время довольно много говорится о необходимости научного сопровождения на всех этапах жизненного цикла мостовых сооружений, однако заметных сдвигов в этом направлении не происходит. Средств на научные исследования выделяется недостаточно, да и те распределяются на основе небезызвестного закона № N 44-ФЗ "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд". Причем никого не коробит такая ситуация, когда контракт на выполнение какой-либо научно-исследовательской работы по результатам торгов получает фирма, сотрудники которой никому не известны в научном мире, тем более, что ученые обычно довольно хорошо знакомы с тем или иным кругом специалистов, занимающихся решением определенных научных проблем. Хорошо еще, что контракты в военной сфере оказались выведенными из-под действия этого закона.

В работе [10] отмечается, что современные технологические достижения позволили человеку проектировать и строить более сложные и грандиозные, чем раньше, мостовые сооружения, которые, по иронии судьбы, кажутся еще более уязвимыми, чем старые мосты; некоторые из которых по-прежнему эксплуатируются сегодня. В настоящее время мосты проектируются и строятся так, чтобы выдерживать воздействия, считающиеся нормальными в течение предполагаемого срока службы сооружений.

Эти воздействия обычно включают только те наиболее вероятные обстоятельства и риски, которые, как ожидается, будут возникать во время эксплуатации мостов, в то время как события с низкой вероятностью игнорируются. Однако всегда есть некоторая вероятность, что произойдет какое-то необычное событие, которое было либо непредвиденным, либо недооцененным, которое приведет к сбою в работе мостового сооружения, его разрушению и, возможно, человеческим жертвам. Эти события могут быть очень разнообразными и трудно предсказуемыми заранее, но их нельзя игнорировать.

В течение последних десятилетий были проведены достаточно обширные исследования с целью понимания причин аварий неудач и прогрессивного разрушения мостов особенно с точки зрения судебной практики.

При этом искали ответы на такие вопросы: как и почему это событие произошло; могло ли оно быть предотвращено; чья вина в наступлении этого события? Для ответа на эти вопросы и понимания причин происшедшего можно исследовать элементы разрушенных мостов, однако, как показывает опыт проведения подобного анализа, бывает сложно со 100 % вероятностью предвидеть наступление таких событий в процессе проектирования и расчетного анализа мостовых сооружений. Хорошо известным примером является мост Такома-Нэрроуз [11], который разрушился в 1940 году из-за крутильных колебаний пролетного строения моста, вызванных динамическими эффектами от действия ветровой нагрузки, не предусмотренной при проектировании моста. Тонкая и гибкая балка пролетного строения моста не была достаточно прочной, чтобы выдерживать аэродинамические эффекты, вызванные ветром, и это упущение в его конструкции стало причиной катастрофы.

Факт остается фактом: мосты, как известно, разрушаются из-за неожиданных или необычных обстоятельств, и важность таких отказов не следует воспринимать легкомысленно. Способность мостового сооружения выдерживать такие обстоятельства, по крайней мере, в той степени, в которой могут быть предотвращены потери, называется структурной устойчивостью; эту характеристику необходимо учитывать при проектировании и строительстве мостовых сооружений. Некоторые вопросы анализа разрушений мостовых сооружений приводятся в работах [12, 13, 14, 15].

Еще одним примером неожиданного непроектного поведения мостового сооружения является всем известное поведение «танцующего моста» в Волгограде. Мы не будем здесь рассматривать этот случай, сошлемся на публикации [16, 17]. Однако для соблюдения истины заметим, что в книге [7] в разделе «Крушения мостов» параграф 14.2 называется «Колебания Саратовского моста через Волгу», хотя в нем описывается непроектное поведение Волгоградского моста. На наш вопрос, как это понимать, авторы ответили: мы живем в Красноярске и на таком расстоянии для нас нет большой разницы между Саратовом и Волгоградом! Так что нередко к приводимой в книгах информации надо относиться осторожно.

Далее рассмотрим оставшиеся в нашей базе данных примеры аварий и разрушений транспортных сооружений с элементами их анализа.

2. Примеры аварий мостовых сооружений с анализом причин

а. Аварии по причине навала судов на опоры мостов

Из мировой практики известно [18], что за период с 1960 по 1993 гг. произошло 29 крупных разрушений мостов в результате навала судов и барж, при этом в общей сложности погиб 321 человек. Причины столкновения судов с опорами мостов могут быть различными [19]: механические поломки судна и потеря управления; человеческий фактор; гидрометеорологические факторы; величина подмостового габарита судоходного пролета; туман и плохая видимость.

Мост через р. Северн в Англии был построен в 1879 г. и имел балочную систему, состоящую из 21-го пролета длиной от 40 до 94 м. Мост располагался в зоне приливно-отливных явлений. Три опоры, расположенные в главном русле, где предполагалось судоходство, имели защитные устройства в виде решетки из отбойных брусьев. В последующем в мелкой части русла увеличилась глубина, и в этот район довольно часто стали попадать суда, потерявшие управление. В результате возникали серьезные столкновения судов с опорами, что вызывало значительные повреждения опор и судов. Однако попыток для защиты моста не было предпринято. И в 1960 г. в результате навала на опору двух барж произошло обрушение опоры и двух пролетных строений. Стоимость ремонта составила 250 тыс. фунтов стерлингов [20].

В период с 1956 по 1964 гг. мост через озеро Понтчартрейн (США) длиной 38,6 км пять раз был подвержен обрушениям части конструкций в результате навала судов [19]. Озеро подвержено воздействию шквальных ветров. Мероприятия по защите моста от навала судов включали наличие двух радарных установок, 88 предупреждающих сигналов и двустороннюю связь для предупреждения близкого подхода судов к мосту. Эти меры оказались малоэффективными, аварии продолжали повторяться. Служба эксплуатации смирилась с неизбежностью аварий и сочла целесообразным заготовить запас элементов опор и пролетных строений для быстрого восстановления разрушенных конструкций.

В 1964 г. в результате потери управления танкер дедвейтом 35 тыс. т сбил сразу две опоры моста через озеро Маракайбо (Венесуэла). Три пролета обрушились [19]. Проектом защита опор не была предусмотрена. Стоимость восстановления обрушенной части (две опоры и три пролетных строения) составила около 5 млн долл. США, время ремонта – 6 месяцев.

Мост Sidney Lanier через р. Brunswick (шт. Джорджия, США) был построен в 1957 г. Мост имел четыре пролета. Длина центрального (судоходного) подъемного пролета составляла 250 футов (76,2 м), остальные пролеты имели длину по 150 футов (45,7 м). В 1972 г. одно из судов попало в несудоходный пролет и столкнулось с опорой. В результате три пролета

обрушились, 10 человек погибло. Общая стоимость восстановления составила 1,3 млн долл. США, а время, потраченное на восстановление, – 6 месяцев [19].

По данным работы [18], только за период с 1970 по 1974 гг. на внутренних водных путях США зарегистрировано 811 случаев навала судов на мостовые сооружения. Не все они привели к обрушению конструкций, тем не менее, общий ущерб составил 23 млн долл. США.

В 1975 г. сухогрузом MV Lake Ilawarra была разрушена опора моста Tasman через р. Дэруэнт в районе г. Хобарт в Австралии. Это столкновение вызвало обрушение трех пролетов, сам буксир затонул, погибло 15 человек [19].

В 1976 г. в результате удара баржи в опору моста Manchac (шт. Луизиана, США) обрушилось три пролета, один человек погиб. На ремонт потребовалось 4 месяца [19].

В 1977 г. у разводного моста Benjamin Harrison Memorial (США), с главным пролетом 363 фута (110,6 м), в результате удара танкера дедвейтом 25 тыс. т в опору было разрушено два пролета. Стоимость ущерба мосту и судну составила 8,5 млн долл. США [19].

Чёрнский автодорожный мост (швед. *Tjömbron*) через Аскерёфьёден, соединяющий шведские острова Челльён и Альмён (Бохуслен) был построен в 1960 году и первоначально носил название Альмёнского. Общая длина моста составляет 664 метра, подмостовой габарит – 45 м. Благодаря длине главного пролета 366 м является самым длинным вантовым мостом Швеции. 18 января 1980 года в 1:30 либерийский сухогруз «Star Clipper» водоизмещением 27 тыс. тонн в условиях тумана задел пролетное строение моста, после чего тот рухнул на судно. Власти не успели оперативно перегородить автомобильное движение, в результате чего семь машин рухнуло в пролив, при этом погибло восемь человек.

Рисунок 1. Альмёнский мост в Швеции
(источник: <http://ru.wikipedia.org>; <http://www.youtube.com>)

9 мая 1980 г. в результате столкновения сухогруза дедвейтом 35 тыс. т с мостом Sunshine Skyway через залив Тампа (шт. Флорида, США) было разрушено 396 м главного пролета. В результате обрушения, проезжавшие в это время по мосту 6 автомобилей и автобус рухнули в

воду со 150 футовой высоты. Эта авария унесла жизни 35 человек. Стоимость ремонта составила около 30 млн долл. США, а судна – 1 млн долл. США [19].

Рисунок 2. Авария моста Sunshine Skyway (США), 09.05.1980 г. [19]

6 декабря 1980 года произошло столкновение танкера «Волгонефть 268» с опорой №7 Сызранского железнодорожного моста через реку Волгу в городе Октябрьске Самарской области. В результате происшествия повреждения конструкций моста не оказались серьезными: разрушен угол третьего железобетонного пояса опоры с повреждением арматуры и облицовочные камни шести горизонтальных рядов в подвижной части опоры, глубиной до 120 мм; также повреждения и в облицовке надводной части опоры по высоте корпуса танкера.

5 июня 1983 года на р. Волге, вблизи г. Ульяновска, на пассажирском теплоходе «Александр Суворов» из-за грубой ошибки вахтенного штурмана, направившего теплоход в более низкий восьмой несудоходный пролет железнодорожного моста, произошла тяжелая катастрофа. В результате столкновения у судна была полностью снесена рубка, кинозал, срезаны дымовые трубы. Скорость теплохода перед столкновением составляла 25 км/час, то есть была близкой к максимальной. После столкновения теплоход по инерции прошел под мостом еще триста метров. Из-за аварии пролетное строение железнодорожного моста было смещено на 40 см. В это время по мосту следовал грузовой поезд со скоростью 70 км/час, массой 3300 тонн, в составе 53 вагонов, 11 из которых сошли с рельсов, часть вагонов опрокинулись. Число погибших, по разным данным, составило от 176 до 600 человек (неопределенность связана с тем, что во время рейса «Александр Суворов» был перегружен).

Пролет Ульяновского моста
после катастрофы 5 июня 1983 г.

Общий вид Ульяновского моста

Повреждения теплохода «Александр Суворов» в результате катастрофы

Рисунок 3. Результаты столкновения теплохода с Ульяновским мостом (источник: <https://yandex.ru/images/search?text=столкновение%20теплохода%20с%20мостом%20в%20ульяновске&stype=image&lr=194&noreask=1&source=wiz>)

Одна из крупных аварий с тяжелыми экологическими последствиями произошла при столкновении полнозагруженного танкера с опорой моста «Million Dollar» через р. Fore в г. Портленде (США). Баржа ударила в защитную (фендерную) систему опоры и разрушила ее, при этом баржа получила пробоину, и в реку вылилось 170 тыс. гал. нефтяного топлива. Данных об ущербе от этой аварии нет, но для сопоставления известно, что при аварии танкера Еххон Valdez у берегов Аляски в 1989 г. разлилось 11 млн гал. нефти и ущерб превысил 3,5 млрд долл. США [18].

22 сентября 1993 года из-за сильного тумана буксир-толкач «Мовилла» сбился с курса и попал в несудоходный пролет железнодорожного моста через Биг Баю Канот (англ. *Big Bayou Canot*) у г. Мобил в штате Алабама, США. Big Bayou Canot – болотистый несудоходный приток реки Мобил. Буксир «Мовилла» вначале совершил столкновение с опорой, пытаясь пришвартоваться, а через несколько секунд – с центральным пролетом моста. После этих столкновений обрушение моста не произошло, но ферма моста сместилась на метр в сторону по часовой стрелке. Выяснилось, что первоначально более 84 лет назад мост планировалось сделать разводным, но поворотный механизм не доделали – в итоге ферма крепилась к опоре только силой трения. В результате происшествия система переключения семафора на красный цвет не сработала, так как рельсовые цепи не были нарушены (произошел только изгиб рельсов). Спустя 8...10 минут трансконтинентальный поезд «Сансет Лимитед» с 220 пассажирами на скорости 116 км/ч врывается в деформированную ферму моста, тем самым, сталкивая центральный пролет моста в воду. В катастрофе погибли 47 и были ранены 103 человека [19].

Рисунок 4. Катастрофа на железнодорожном мосту через Big Bayou Canot у г. Мобил в штате Алабама, США, 22.09.1993 г. (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

В январе 1998 г. на северо-востоке Испании в результате навала плавучей нефтяной платформы был разрушен мост через Ферольский лиман. Этот мостовой переход, построенный в 1968 г., имеет длину 2,2 км, включая подходы. Мост был выполнен по схеме 11×32 м с пролетными строениями из предварительно напряженного железобетона. Подмостовой габарит составлял 11 м, глубина воды – 22 м. При навале платформы было разрушено пять опор. Ущерб был оценен в 5 млн долл. США [21].

Список аварий мостов в результате навала судов можно пополнить [19]: мост через залив Маснедзунд в Дании (1935 г.); мост через р. Чарльз в г. Бостоне в США (1945 г.); мост через р. Купер в США (1946 г.); мост через р. Рейн в г. Дюссельдорфе в Германии (1947 г.); мост в порту Сет во Франции (1959 г.); мост у г. Порт-Артура в США (1963 г.); мосты через р. Раритан и через р. Саванна в США (1966 г.); мост через залив Chesapeake в США (1967 г., 1970 г., 1972 г.); мост Welland Canal в Канаде (1974 г.); мост через р. Frazer в Канаде (1975 г.); мост Union Avenue через р. Passiac в шт. Нью-Джерси, США (1977 г.); железнодорожный мост Second Narrows в гавани г. Ванкувера в Канаде (1979 г.).

Мост Queen Isabella Causeway в штате Техас, возле города Порт Изабель (США). В сентябре 2001 года 4 баржи, груженные минеральными удобрениями, протаранили оживленный автомобильный мост. Не выдержав удара, два пролета моста Queen Isabella Causeway с высоты почти 30 метров рухнули в воду. Это самый длинный мост штата – его длина составляет около 5 километров. Не менее пяти человек погибли.

Мост на р. Арканзас в штате Оклахома (США). В мае 2002 года во время половодья на реке Арканзас в штате Оклахома судно-буксир, транспортировавшее две порожних нефтяных баржи, потеряло управление из-за сильной грозы над рекой. В результате баржи врезались в опору моста, построенного 20 лет назад, длина моста 400 м. Это повлекло обрушение его двух его секций [19].

16 августа 2002 года около 4 часов утра сухогруз «Каунас» с грузом металлопроката столкнулся с опорой Литейного моста, судно накренилось и затем затонуло. Литейный мост через р. Неву в г. Санкт-Петербурге – автодорожный, пешеходный, пятипролетный, арочный, пролетные строения металлические клепаные, разводной шестой пролет перекрыт решетчатой металлической фермой. Общая длина моста 396 м, ширина 34 м. Реконструкция моста была проведена в 1966-1967 годах.

Рисунок 5. Столкновение сухогруза с литейным мостом (источник: https://yandex.ru/images/search?text=столкновение%20сухогруза%20с%20литейным%20мостом&img_url=https%3A%2F%2Ficdn.lenta.ru%2Fimages%2F0000%2F0230%2F000002300777%2Fdetail_1358810130.jpg&pos=0&rpt=simage&lr=194)

4 января 2004 года в результате столкновения плавучего крана с железнодорожным мостом через р. Свирь (Карелия), находящегося на 284-м километре перегона Подпорожье – станция Свирь, были повреждены элементы пролетного строения. Во время происшествия движения по мосту не было, никто не пострадал.

10 июня 2004 года немецкий пассажирский корабль «Европейский викинг» столкнулся с опорой моста в столице Австрии Вене. В результате происшествия 19 человек получили ранения, у корабля был сильно поврежден отсек, в котором располагался ресторан.

По данным, представленным на заседании комиссии по чрезвычайным ситуациям г. Санкт-Петербурга в августе 2005 года, за навигацию суда таранили невские мосты 6 раз:

- 17 мая 2005 года танкер "Волгонефть" навалился на мост, ущерб оценен в 3 млн 464 тыс. рублей;
- 19 мая 2005 года – лесовоз "Енисей" столкнулся с мостом Александра Невского (сухогруз сел на основание опоры моста, после чего его развернуло сильным течением поперек фарватера), ущерб около 3 млн рублей;
- 1 июня 2005 года "Волгодон 99" навалился на опору Троицкого моста, сумма ущерба превысила 2 тыс. 500 рублей;
- 30 июля 2005 года памятное происшествие с танкером "Иркутск ГЭС", ущерб – 3 млн 71 тыс. рублей;

- 30 июля 2005 года "Невский 22" наехал на разводную часть Тучкова моста, ущерб – свыше 3 миллионов руб.;
- 11 августа 2005 года маломерное судно ударило в опору Дворцового моста.

В 2006 году при проходе судов через створы пролетов мостов г. Санкт-Петербурга произошло четыре аварии, размер ущерба от которых составил около семи миллионов рублей: катер «Москва-34» врезался в опору Дворцового моста, частично повредив его подцветку, а судно «Беломорск-22» коснулось опоры Литейного моста, при этом мост и судно получили незначительные повреждения.

15 июня 2007 года произошло обрушение автодорожного моста через р. Сицзян в провинции Гуандун на юге Китая. Погибли девять человек. Баржа, груженная двумя тысячами тонн песка, нарушила правила прохождения фарватера реки и врезалась в опору моста, что привело к обрушению пролета моста длиной 200 метров. Во время аварии на мосту находились шесть автомобилей, которые упали в реку. Мост через р. Сицзян был построен в 1988 году, его общая длина составляет 1600 метров.

Рисунок 6. Обрушение автодорожного моста через р. Сицзян в провинции Гуандун на юге Китая, 15.06.2007 г. (источник: <http://www.vesti.ru>)

7 ноября 2007 года контейнеровоз «Cosco Busan» навалил на двухуровневый автодорожный мост Окленд Бэй Бридж (восточная часть мостового перехода, длиной 7,18 км), следуя на выход из бухты Сан-Франциско. Мост висячий со стальной решетчатой балкой жесткости, судоводный подвесной пролет 700 м, ширина проезжей части для пяти полос движения автотранспорта 17,5 м, высота подмостового габарита 67 м. Контейнеровоз навалил на фендер второй опоры моста к западу от острова Йерба Буэна. Мост не пострадал, повреждены только сваи фендера. Из топливных танков произошла утечка топлива, порядка 530 литров.

Рисунок 7. Навал судна «Cosco Busan» на фендер опоры автодорожного моста Bay Bridge, 7 ноября 2007 г. (источник: <http://www.containerships.narod.ru>)

В ноябре 2007 года в г. Бресте (Республика Беларусь) произошло разрушение стойки опоры автодорожного моста через реку Мухавец в результате навала баржи [22]. До проведения ремонтных работ по усилению поврежденной опоры было закрыто движение пешеходов по тротуару и ограничено движение автотранспорта по мосту.

7 апреля 2008 года в акватории бельгийского города Антверпен судно под флагом Норвегии, перевозившее автомобили, протаранило висячий мост, совмещенный для пропуска железнодорожного и автомобильного транспорта. В результате инцидента мост серьезно пострадал и по оценке специалистов, потребуется не менее одного года для устранения последствий ЧП. Никто из членов экипажа не пострадал, а судно получило незначительные повреждения.

4 июля 2009 года во время буксировки плавучего крана из акватории Волги в её приток реку Кинешемку произошло столкновение с Никольским автодорожным мостом (г. Кинешма

Ивановской области). По конструктивному решению мост выполнен в виде арочной фермы с затяжкой, однопролетный, с ездой посередине. В результате аварии были деформированы балки моста и смещены железобетонные плиты тротуара, порваны кабели связи и других коммуникаций, движение транспорта по нему было закрыто. Вероятной причиной столкновения стало то, что кран перед транспортировкой не был приведен в походное состояние, в итоге стрела крана врезалась в мост. После детального обследования специалисты пришли к заключению, что мост может эксплуатироваться с ограничением грузоподъемности – не более 11 тонн. Оценочная стоимость работ по устранению повреждений может составить более 722 тыс. рублей.

*Рисунок 8. Никольский автодорожный мост через
р. Кинешемку в г. Кинешма (источник: <http://ivoblast.ru>)*

Летом 2009 года прогулочный экскурсионный теплоход «Золушка» столкнулся с опорой Большого Петровского пешеходного моста, расположенного вблизи Крестовского острова через р. Малая Невка. В конце декабря 2009 года начались работы по реконструкции моста (к началу сентября 2010 года объект был сдан в эксплуатацию).

27 августа 2009 года прогулочное судно «ВецРига», на борту которого находились несколько десятков пассажиров, врезался в опору Каменного моста через р. Даугаву в центре латвийской столицы, пострадавших нет. Как сообщал Интернет-портал Delfi, обслуживающий персонал корабля в момент ЧП находился в состоянии алкогольного опьянения. Это и могло стать причиной аварии. Как отмечала республиканская газета «Телеграф», судно «ВецРига» уже не в первый раз врезается в Каменный мост – похожая авария произошла в июле 2007 года.

28 октября 2010 года сухогруз «Глория», водоизмещением 2155 тонн, длиной 81 м, принадлежащий ОАО «Балттречпорт», загруженный техническим оборудованием, столкнулся с третьей опорой Володарского моста в акватории р. Невы, г. Санкт-Петербург. Причиной инцидента стал отказ рулевого оборудования. Судно получило незначительные повреждения рубки, из одиннадцати членов экипажа никто не пострадал. Володарский мост – автодорожный, пешеходный через р. Неву в г. Санкт-Петербурге, имеет эстакадную пристройку для съезда трамваев (левый берег), длина моста 325 м, ширина 36 м. Мост построен в 1932-1936 гг. Мост трехпролетный, с двукрылым разводным центральным пролетом, опоры железобетонные, пролетные строения (после реконструкции в 1989-1993 гг.) металлические балочные.

Рисунок 9. Володарский мост в акватории
р. Невы, г. Санкт-Петербург (источник: <http://www.spb.aif.ru>)

25 декабря 2010 года произошло обрушение пролетного строения автодорожного моста в поселке Циньнань провинции Цзянсу в Китае. Грузовая угольная баржа, потеряв управление, столкнулась с пролетным строением судоходного пролета моста, длиной около 60 м. Пролетное строение железобетонное в виде сквозной арки. Касание проходящими баржами с грузом 300-1000 тонн наблюдалось почти ежемесячно, восстановительные работы своевременно не проводились, мост за четыре года до данной аварии был признан аварийным. Информации о пострадавших нет.

Рисунок 10. Обрушение пролетного строения
автодорожного моста в поселке Циньнань провинции Цзянсу в Китае,
25.12.2010 г. (источник: <http://www.epochtime.com.ua/ru>)

6. Аварии по причине воздействий на конструкции моста экстремальных (форс-мажорных) нагрузок (столкновение с авиационной техникой, скоростным поездом, пожар, торнадо, диверсия, повреждения в результате аварий проложенных по ним коммуникациям и т. п.)

3 сентября 1861 года в результате диверсии партизан-конфедератов в ходе гражданской войны был разрушен железнодорожный мост Плат в г. Сент-Джозеф, штат Миссури (США). В результате катастрофы погибли не менее семнадцати человек и еще сто были ранены.

19 сентября 1941 года мост имени Евгении Рош через р. Днепр в Киеве был уничтожен советскими войсками при отступлении [23]. Мост был построен в 1925 году. По конструктивному решению – висячий с балкой жесткости, шестипролетный, общей длиной 776

м, с основным пролетом 143 м, шириной 16 м. После разрушения мост не восстанавливался, опоры моста сохранились до середины 1950-х годов, некоторое время они использовались для линии электропередачи.

Рисунок 11. Мост имени Евгении Рош через р. Днепр в Киеве [23]

17 марта 1945 года произошло обрушение Ремагенского моста в Германии через р. Рейн. Мост рухнул во время реконструкции, проводимой после неудачного подрыва моста отступающими войсками. Погибло 28 военнослужащих инженерных войск армии США, и ещё 93 получили травмы различной тяжести [24].

Рисунок 12. Обрушение Ремагенского моста в Германии через р. Рейн, 17.03.1945 г. (источник: <http://www.engineeringcivil.com>)

13 января 1982 г. в г. Вашингтоне (США) во время бурана при взлете разбился «Боинг-737» авиакомпании «Эйр Флорида», врезавшийся в мост над рекой Потомак на 14-й улице. Погибли 74 человека на борту самолета и 4 человека в автомобилях, оказавшихся на мосту.

В июне 1998 года скоростной поезд, следовавший из Мюнхена в Гамбург, сошел с рельсов и врезался в опору виадука. Железобетонное пролетное строение обрушилось на вагоны. Катастрофа произошла близ города Эшеде (федеральная земля Нижняя Саксония). Водитель легкового автомобиля, ехавшего по виадуку над железнодорожными путями, не

справился с управлением, машина пробила заграждение и упала на рельсы. Двигавшийся поезд "Вильгельм Конрад Рентген" со скоростью 200 км в час врезался в автомобиль, сошел с рельсов и врезался в опору виадука. Виадук обрушился, его обломки завалили 3 из 13 вагонов поезда. Погибли 92 человека, ранено более 200 человек.

В 2006 году произошла авария на теплотрассе, проложенной под крайними балками пролетного строения автодорожного путепровода по ул. Молодежной в г. Новополоцке Республики Беларусь [22]. В результате происшествия сооружение получило следующие повреждения: размыв конуса опоры, обрушение крайней переходной плиты под тротуаром, разрушение тротуаров на сопряжении путепровода с подходом, нарушение целостности кабелей коммунального назначения, проложенных под тротуаром. По счастливой случайности пешеходы и автотранспорт не пострадали.

29 мая 2006 года в республике Тува (Тыва) в Каа-Хемском районе сгорел 80-метровый автодорожный мост через реку Дерзиг. По версии прокуратуры, деревянный мост, который был построен 20 лет назад, мог загореться из-за поджога. Пожарным, прибывшим на место возгорания, удалось локализовать пожар, однако два пролета моста обрушились.

12 апреля 2007 года произошло обрушение трех пролетов автодорожного моста Аль-Сарафия через р. Тигр в г. Багдаде (Ирак). Причиной обрушения стал взрыв начиненного взрывчаткой грузовика, управляемого смертником. В результате катастрофы погибли 10 и ранены 26 человек. Мост был построен в 1950-х годах. В 1991 году в результате американских бомбардировок мост был поврежден. По конструктивному решению мост консольно-балочный со сквозными металлическими фермами на массивных железобетонных опорах.

*Рисунок 13. Мост Аль-Сарафия через р. Тигр в г. Багдаде
после разрушения 12.04.2007 г. (источник: <http://ru.wikipedia.org>)*

29 апреля 2007 года произошло обрушение путепровода вблизи г. Сан-Франциско (США, шт. Калифорния). Обрушение произошло рано утром, когда бензовоз, везший 32 м³ бензина, потерпел аварию на MacArthur Maze – подъезде к путепроводу Сан-Франциско – Оклэнд-Бэй. Последовало возгорание, при этом температура пламени достигала 1650 °С. В результате мостовой переход I-580 обрушился на проходящую под ним междуштатную магистраль.

Рисунок 14. Обрушение путепровода вблизи г. Сан-Франциско
(США, штат Калифорния), 29.04.2007 г. (источник: <http://www.nestor.minsk.by>)

13 марта 2008 года грузовое судно повредило газовую магистраль, проходившую под мостом через канал Рейн-Майн-Дунай на юге Германии в г. Регенсбурге. Инцидент вызвал пожар, частичное обрушение конструкций и угрозу обрушения моста. Судно повредило газовую магистраль установленным на палубе краном. Начался сильный пожар, стальные конструкции моста в отдельных местах расплавились и сильно деформировались – остаточный прогиб составил до 100 см. Пострадавших нет, судоходное движение закрыто.

В августе 2008 г. экспресс категории EuroCity, следовавший из Кракова в Прагу, на скорости около 140 километров в час врезался в путепровод, обрушившийся на железнодорожные пути, и сошел с рельсов. Катастрофа произошла в районе населенного пункта Студенка (Studenka), в 350 километрах от Праги, неподалеку от границы с Польшей. По меньшей мере, десять человек погибли и сто получили ранения в результате железнодорожной аварии на северо-востоке Чехии.

15 июля 2009 года в окрестностях г. Детройта в США в результате столкновения бензовоза, перевозившего 34 тонны бензина, и другого грузового автомобиля на путепроводе через междущтатную магистраль Interstate 75, произошел взрыв и сильный пожар, в результате чего произошло обрушение пролетного строения. Путепровод запроектирован по разрезной схеме со стальными двутавровыми главными балками и железобетонной плитой проезжей части, опоры железобетонные. От взрыва бензовоз сбросило с путепровода на проходившую под ним автодорогу. Удивительно, но никто серьезно не пострадал.

Рисунок 15. Авария на путепроводе через междуштатную магистраль Interstate 75 в г. Детройт, США, 15.07.2009 г. (источник: <http://www.cardriver.ru>)

5 апреля 2010 года прямым попаданием молнии во время первой весенней грозы разрушена декоративная опора моста Понятовского через р. Висла в г. Варшаве в Польше. Обломки кирпичной кладки и бетона рухнули на пешеходную лестницу, ведущую на мост, никто не пострадал. Мост Понятовского был построен еще до Первой мировой войны, с каждого конца его украшают по две декоративных опоры, высотой с двухэтажный дом. В 2008 году мост был капитально отреставрирован.

Рисунок 16. Вблизи моста Понятовского через р. Висла в г. Варшаве (источник: <http://www.vesti.ru>)

В работе А.С. Платонова [25] приведено описание аварии на четырехпролетном автодорожном мосту по схеме 16,76+32,91x2+16,76 м (габарит Г7+2x1,0). Мост сталежелезобетонный, по краю проезжей части вдоль тротуаров были уложены нефтепродуктопроводы. При наезде подвижной нагрузки на нефтепродуктопроводы и их повреждении на мосту возник пожар, продолжавшийся около двух часов. В результате полностью вышли из строя конструкции мостового полотна, частично был обезвожен защитный слой железобетонных балок и ригелей опор. Один из пролетов 32,91 м рухнул из-за значительных пластических деформаций металла стальных главных балок из проката марки 15ХСНД по ГОСТ 6713-75, а на другом сталежелезобетонном пролетном строении возникли

значительные деформации стенок в виде хлопнунов, превосходящие допустимые в 1,7-2,0 раза. Хрупкие разрушения в конструкциях не обнаружены, но пластические деформации были весьма значительные. Анализ показал, что конструкции моста были подвержены термическому воздействию с температурой более 600 °С. Катастрофические последствия обусловлены нагревом металла выше температуры рекристаллизации (300-450 °С), что привело к снижению предела текучести – в этом случае потеря устойчивости стенок и сильная деформация поясов главных балок была неизбежна.

в. Аварии, вызванные ошибками в расчетах, использованием некачественного материала

11 мая 1858 года произошла катастрофа железнодорожного моста через р. Соквойт в 5-ти км от г. Ютика, штат Нью-Йорк (США) при одновременном прохождении двух поездов. В результате 9 человек погибли, 55 были ранены. Причинами катастрофы явились ошибки, допущенные при проектировании, вследствие недостаточного развития методов расчета.

11 июня 1860 года произошло обрушение железнодорожного моста Вуттон (Wootton) в Соединенном Королевстве (Британия) под весом проходящего поезда, весом 30 тонн. Причиной катастрофы стал выход из строя прогонов, изготовленных из некачественного чугуна, в результате мост был разрушен до основания, два человека погибли.

По данным статистики, в Соединенных Штатах Америки с 1878 по 1887 гг. было отмечено 251 аварий (нарушение целостности) мостов из-за строительных дефектов, перегрузки мостовых конструкций и столкновения поездов. Не лучше обстояло дело и в других странах.

18 июня 2008 года произошло обрушение автодорожного путепровода в районе первой развязки дороги Sheikh Zayed эмирата Дубай (Dubai). На момент аварии путепровод находился на ремонте. По сообщению Дубайского комитета по дорогам и транспорту (RTA) обрушение путепровода произошло из-за разрушения опор вследствие ошибок в расчетах, допущенных подрядчиком. В результате пятеро рабочих получили травмы легкой и средней тяжести.

4 января, 1999 года произошло разрушение моста Рэйнбоу в Китае. Погибло 49 человек. Длина моста 102 м. Расследование обвала Rainbow Bridge показало, что сталь, использованная в конструкциях моста, была низкого качества.

*Рисунок 17. Мост Рэйнбоу (Китай),
04.01.1999 г. (источник: <http://amigo.hiblogger.net/2327.html>)*

7 ноября 2005 года во второй половине дня около г. Альмуньеккар близ Гренады (Испания) на рабочих обрушился пролет строящегося автодорожного виадука, высотой 80 метров. По уточненным данным, в момент обрушения на пролете виадука и под ним находились от 20 до 40 человек. Погибли, по меньшей мере, семь человек. Обрушившийся

пролет виадука является частью строящейся Средиземноморской национальной автострады, которая будет проходить по югу Испании, её начали строить в 2002 году. Он достигал 60 м в длину и 12 м в ширину. Конструкция обрушилась из-за дефектов в опорах конструкции и свайном фундаменте. Комментируя произошедшую трагедию, испанские СМИ напоминали, что в октябре 2004 года в металлоконструкциях для виадука использовалась сталь из Турции. Тогда в этом материале были обнаружены серьезные дефекты. В результате этого министерство промышленности Испании было вынуждено временно прекратить работы.

Рисунок 18. Обрушение пролета строящейся шоссейной эстакады около г. Альмуньеккар близ Гренады (Испания) (источник: <http://www.novdelo.ru>)

Заключение

В четырех статьях, из которых данная статья является последней, приведен далеко не полный перечень причин аварий и катастроф мостовых сооружений с примерами. При рассмотрении примеры аварий мостовых сооружений были объединены в следующие группы:

- вызванные недоучетом ветровой нагрузки и аэродинамической неустойчивостью;
- вызванные потерей устойчивости элементов;
- из-за ошибок в технологии ведения строительно-монтажных и ремонтных работ;
- вызванные перегрузкой несущих конструкций;
- наступившие вследствие резонанса или усталости материала;
- наступившие вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды;
- вследствие недостаточной надежности и расстройства соединений;
- по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки;
- по причине отсутствия технического надзора;
- вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений;
- по причине навала судов на опоры мостов;
- по причине воздействий на конструкции моста экстремальных (форс-мажорных) нагрузок (столкновение с авиационной техникой, скоростным поездом, пожар, торнадо, диверсия, повреждения в результате аварий проложенных по ним коммуникациям и т. п.);
- вызванные ошибками в расчетах, использованием некачественного материала.

Очевидно, что снижение аварийности мостовых сооружений может быть достигнуто как на основе изучения опыта происшедших аварий, включая и рассмотренные в указанных выше статьях, а также повышением качества нормативной документации, проектных и строительно-монтажных работ, повышением качества содержания мостовых сооружений с учетом накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ из причин. Часть 1 // Транспортные сооружения, 2017 №4, <https://t-s.today/PDF/01TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. с. 1-42.
2. Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ из причин. Часть 2 // Транспортные сооружения, 2017 №4, <https://t-s.today/PDF/01TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. с. 1-42.
3. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 3 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 No1, <https://t-s.today/PDF/08SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08SATS118.
4. Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2020 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махутов, Г.А. Павлова, Н.А. Шишкина. – М., 2011. – 320 с.
5. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: Монография / Под ред. В.И. Теличенко, К.И. Еремина. – М., 2011. – 428 с.
6. Пономарев В.П., Травуш В.И., Бондаренко В.М., Еремин К.И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений», 2012. Электронный ресурс: <http://pamag.ru/prensa/bss-pse>. с. 1-9.
7. Енджиевский Л.В., Терешкова А.В. История аварий и катастроф: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2013. – 440 с.
8. Borjan Alesson. Understanding Bridge Collapse. Taylor & Francis Group, London, UK, 2008. 282 p.
9. Scheer, Joachim, Failed bridges: case studies, causes and consequences, Berlin: Ernst & Sohn, 2010, 321 p.
10. Ívar Björnsson. Robust design of bridges – Robustness analysis of Sjölundaviadukten Bridge in Malmö. Master Thesis. Report no. TVBK-5179. Division of Structural Engineering Lund Institute of Technology Lund University, 2010. 114 p.
11. Spoth, T. Viola, J. Molina, A. Condell, S. The New Tacoma Narrows Bridge – From Inception to Opening // In: Structural Engineering International, v. 18, n. 1 (February 2008), pp. 24-27.
12. Galambos, T.V. The safety of bridges. NAE, The Bridge, 2008. Vol. 32 (2), pp. 20-25.

13. Stempfle, H.; Vogel, T. A concept to evaluate the robustness of bridges // Workshop paper, JCSS and IABSE Workshop on Robustness of Structures, Building Research Establishment, Garston, Watford, UK, 2005. November 28-29.
14. Wardhana, K.; Hadipriono, F.C. Analysis of Recent Bridge Failures in the United States // Journal of Performance of Constructed Facilities, 2003. Vol. 17, No. 3, August 2003.
15. Wisniewski, D.; Casas, J.R.; Ghosn, M. Load capacity evaluation of existing railway bridges base on robustness quantification // Structural Engineering International, 2006. 16(2), pp. 161-166.
16. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Филиппова В.О. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Часть 1. Причины // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/07KO615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/07KO615.
17. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Филиппова В.О. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Часть 2. Аналогии, мероприятия // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/08KO615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08KO615.
18. Knott M.A. Vessel collision design codes and experience in the United States // Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis, Copenhagen (Denmark), 10-13 May 1998. – Rotterdam (Brookfield): A.A. Balkema, 1998. – P. 75-84.
19. Перевозников Б.Ф., Селиверстов Б.А. / Обзорная информация. Вып. 4-2000. – М.: Автомобильные дороги, 2000.
20. Frandsen A.G. Accidents involving bridges. IABSE Colloquium. Copenhagen, 1983. – In book: Ship Collision with Bridges and Offshore Structures: IABSE report. Vol. 41. – Zurich, 1983. – P. 11-26.
21. Giant platform bashes bridge / Engineering News Record. – 1998. – January 26. – P. 28.
22. Гулицкая Л.В., Куш Н.Н., Шиманская О.С. Анализ техногенных рисков при строительстве и эксплуатации мостов в Республике Беларусь / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2010. – С. 77-79.
23. Энциклопедический справочник «Киев» / Под ред. А.В. Кудрицкого. – Киев: Главная редакция Украинской Советской Энциклопедии, 1982. – С. 637-638.
24. Кессельринг А. Люфтваффе: триумф и поражение. Воспоминания фельдмаршала Третьего рейха. 1933-1947 / Пер. с англ. Л.А. Игоревского – М.: ЗАО Центрполиграф, 2003. – 494 с.
25. Платонов А.С. Уроки аварий металлических конструкций мостов // М.: Транспортное строительство №6, 2009. – С. 6-9.

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: bridgeart@mail.ru

Maystrenko Igor Yurievich

Kazan state university of architecture and engineering, Kazan, Russia
E-mail: igor_maystr@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Perm national research polytechnic university, Perm, Russia
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
National research nuclear university «MEPhI»
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Russia
E-mail: bridgesar@mail.ru

Uspanov Amergaley Marzagaleevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: u.a.-91@mail.ru

Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 4

Abstract. The article notes that the analysis of accidents and destruction of bridge structures should contribute to the accumulation of both positive and negative experience of specialists in the designing, construction and operation of bridge structures, as well as provide very valuable material for scientific research and generalizations. Carrying out a thorough investigation and analysis to identify the real causes of emergency situations and the destruction of bridge structures will further clarify both the regulatory and design loads on bridge structures, and more clearly identify other external factors that affect bridge structures in order to create construct and analyze more correct calculation models of bridge structures, the development of more advanced methods for calculating structures. Modern technological achievements have allowed a person to design and build more complex and grandiose bridge structures than before, which, ironically, seem even more vulnerable than old bridges, some of which are still in operation today. Bridges are destroyed because of unexpected or unusual circumstances, and the importance of such failures should be taken seriously. The ability of a bridge structure to withstand such circumstances is called structural stability. This characteristic should be taken into account in the designing and construction of bridge structures. Further in the work the examples of accidents and destruction of bridges that are left in the database with the elements of their analysis are considered.

In conclusion, it is pointed out that during the analysis, examples of crashes of bridge structures were combined into the following groups: caused by underestimation of wind load and aerodynamic instability; caused by loss of stability of elements; because of mistakes in the technology of construction and installation and repair work; caused by overloading of supporting structures. The result is the resonance or fatigue of the material; the damage caused by the degradation of the material and the adverse effects of the operating environment; due to insufficient reliability and connectivity disorders; due to non-compliance with the established dimensions of the goods carried and impacts of the mobile load; due to lack of technical supervision; due to the appearance of additional efforts and deformations due to geological, hydrological, landslide and seismic phenomena; due to the pile of ships on the piers of bridges; due to the effects on the bridge construction of extreme (force-majeure) loads; caused by errors in the calculations, the use of poor-quality material.

Keywords: bridge; transport constructions; failure; bridge collapse; bridge structures collapse; maintenance safety; examples of bridges failures; progressive bridges collapse

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Yu., Ovchinnikov I.G., Kokodeev A.V. (2017). Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 1. *Russian journal of transport engineering*, [online], 3(4). Available at: <https://t-s.today/PDF/01TS417.pdf> (in Russian) DOI 10.15862/13TS417.
2. Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Yu., Ovchinnikov I.G., Kokodeev A.V. (2017). Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 2. *Russian journal of transport engineering*, [online], 3(4). Available at: <https://t-s.today/PDF/14TS417> (in Russian) DOI 10.15862/14TS417.
3. Maystrenko I.Yu., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Uspanov A.M. (2018). Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 3. *Russian journal of transport engineering*, [online], 1(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/08SATS118.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/08SATS118.
4. Eremin K.I., Makhutov N.A., Pavlova G.A., Shishkina N.A. (2011). Reestr avarij zdaniy i sooruzhenij 2001-2020 godov. [*The register of failures of buildings and constructions 2001 to 2020.*] Moscow, p. 320.
5. Telichenko V.I., Eremina K.I. (2011). Bezopasnost' ehkspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: Monografiya. [*Safety of maintained buildings and constructions: Monograph.*] Moscow, p. 428.
6. Ponomarev V.P., Travush V.I., Bondarenko V.M., Eremin K.I. (2012). About necessity of the systemic approach to scientific research in the field of integrated security and prevention of buildings and constructions failures. *Electronic journal «The Prevention of Accidents of Buildings and Structures»*, [online], pp. 1-9. Available at: <http://pamag.ru/prensa/bss-pse> (in Russian).
7. Endzhievskiy L.V., Tereshkova A.V. (2013). Istoriya avarij i katastrof: monografiya. [*History of failures and disasters. Monograph.*] Krasnoyarsk: Sib. Feder. Univ., p. 440.
8. Borjan Alesson (2008). *Understanding Bridge Collapse*. London: Taylor & Francis Group, p. 282.
9. Scheer Joachim (2010). *Failed bridges: case studies, causes and consequences*. Berlin: Ernst & Sohn, p. 321.
10. Ívar Björnsson (2010). *Robustness analysis of Sjölundaviadukten Bridge in Malmö. Master Thesis. Report no. TVBK-5179*. Division of Structural Engineering Lund Institute of Technology Lund University, p. 114.
11. Spoth T., Viola J., Molina A., Condell S. (2008). The New Tacoma Narrows Bridge – From Inception to Opening. *Structural Engineering International*, 1(18), pp. 24-27.
12. Galambos T.V. (2008). The safety of bridges. *NAE, The Bridge*, 2(32), pp. 20-25.
13. Stempfle H., Vogel T. (2005). A concept to evaluate the robustness of bridges. *Workshop paper, JCSS and IABSE Workshop on Robustness of Structures, Building Research Establishment, Garston, Watford, UK*. [Accessed 28-29 november 2005].
14. Wardhana K., Hadipriono F.C. (2003). Analysis of Recent Bridge Failures in the United States. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 3(17). [Accessed august 2003].

15. Wisniewski D., Casas J.R., Ghosn M. (2006). Load capacity evaluation of existing railway bridges base on robustness quantification. *Structural Engineering International*, 16(2), pp. 161-166.
16. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Filippova V.O. (2015). Dancing bridge in Volgograd: reasons, analogies, measures. Part 1. Reasons. *Naukovedenie*, [online] 6(7). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/07KO615.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/07KO615.
17. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Filippova V.O. (2015). Dancing bridge in Volgograd: reasons, analogies, measures. Part 2. Analogies, measures. *Naukovedenie*, [online] 6(7). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/08KO615.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/08KO615.
18. Knott M.A. (1998). Vessel collision design codes and experience in the United States. *Rotterdam (Brookfield): A.A. Balkema*, pp. 75-84. [Accessed 10-13 May 1998].
19. Perevoznikov B.F., Seliverstov B.A. (2000). Overview information. *Highways*, 4. (in Russian).
20. Frandsen A.G. (1983). *Accidents involving bridges. IABSE Colloquium. Copenhagen, 1983. – In book: Ship Collision with Bridges and Offshore Structures: IABSE report. Vol. 41.* Zurich, p. 11-26.
21. (1997). *Giant platform bashes bridge*. Engineering News Record, p. 28.
22. Gulitskaya L.V., Kushch N.N., Shimanskaya O.S. (2010). Analysis of technogenic risks in the construction and operation of bridges in the Republic of Belarus. *Belarusian National Technical University*, pp. 77-79. (in Russian).
23. (1982). *Ehnciklopedicheskij spravochnik «Kiev»*. [Encyclopedic reference book "Kiev". Ed. by A.V. Kudrytsky.] Kiev: The main edition of the Ukrainian Soviet Encyclopedia, pp. 637-638.
24. Kesselring A. (2003). *Luftwaffe: triumph and defeat. Memoirs of the Field Marshal of the Third Reich. 1933-1947*. [Russ. ed.: Lyuftvaffe: triumf i porazhenie. Vospominaniya fel'dmarshala Tret'ego rejha. 1933-1947. Authorized transl. by L.A. Igorevskogo. Moscow: ZAO Tsentrpoligraf, p. 494.]
25. Platonov A.S. (2009). Lessons of accidents of metal structures of bridges. *Transport construction*, 6, pp. 6-9. (in Russian).