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/08SATS118.pdf>

DOI: 10.15862/08SATS118 (<http://dx.doi.org/10.15862/08SATS118>)

Статья поступила в редакцию 30.01.2018; опубликована 23.03.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

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 №1, <https://t-s.today/PDF/08SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08SATS118

For citation:

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

УДК 624.04

Майстренко Игорь Юрьевич

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

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия¹
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgeart@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 3

Аннотация. В статье 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. Указывается, что при разработке более новых нормативных документов, обеспечивающих

¹ 410054, Саратов, Политехническая 77

проектирование более безопасных мостовых сооружений, используется наработанный опыт анализа ошибок, приведших к авариям и разрушению мостов различных типов.

Разрушение мостового сооружения может привести к таким последствиям:

- перерыв в движении транспорта по соответствующей дороге;
- необходимости привлечь полицию и скорую помощь для разрешения конфликтных ситуаций и оказания помощи пострадавшим;
- необходимости организации объезда или вообще организации альтернативного маршрута;
- необходимости проведения аварийных ремонтных работ с последующим ремонтом сооружения с целью его восстановления;
- проведение судебных экспертиз с целью выяснения степени вины участников проекта;
- необходимости проведения реконструкции мостового сооружения;
- поврежденные мосты должны быть заменены более эффективными сооружениями с использованием современных методов проектирования и строительства.

Приводится классификация особых (аварийных) воздействий согласно Национальному приложению к Еврокоду EN 1991-1-7.

В следующей части статьи приводятся примеры ряда аварий мостовых сооружений с анализом причин, причем рассматриваются: аварии вследствие недостаточной надежности и расстройств соединений; аварии по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки; аварии по причине отсутствия технического надзора; аварии вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений.

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] и [2], в которых на основе анализа результатов, проведенных авторами работ [3-8] были сформулированы соображения о природе аварий транспортных сооружений и необходимости изучения причин наступления аварийных ситуаций. Также на основе материалов статьи [4] 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] отмечено, 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. Указывается, 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] приводятся 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] приводятся примеры разрушения мостовых сооружений, вызванных перегрузкой несущих конструкций, возникновением резонанса или усталостью материала, вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды.

Этот перечень с примерами аварий и разрушений мостов будет продолжен в настоящей статье.

1. Состояние проблемы и постановка задачи

Как правило, инженеры стараются избегать наступления аварийных ситуаций в мостовых сооружениях, а в случае разрушения исследуют причины наступления аварийных ситуаций и разрабатывают способы предотвращения таких случаев. История происшедших аварий мостов и специальные исследования таких случаев позволяют понять и оценить причины их наступления. 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. Если имевшие место ошибки оценивать правильно, то можно получить достаточно важную информацию для корректного проектирования, которую затем следует включать в разрабатываемые нормативные документы.

Деструкция материалов, из которых изготавливаются элементы мостовых сооружений может проявляться в разных формах. Это могут быть и большие деформации и охрупчивание и растрескивание. Например, пластические шарниры могут образовываться в пролете балок под сосредоточенными нагрузками, то есть там, где возникают большие прогибы или изгибающие моменты. Они могут появиться и в зонах опирания, то есть там, где велики сдвиговые усилия, опорные реакции или отрицательные изгибающие моменты. Аварии могут иметь место и в процессе строительства мостовых сооружений, причем они могут приводить не только к разрушению конструкций, но и к травмированию и даже гибели людей. Причем, как показывает опыт, число погибших при строительстве мостов нередко превышает число погибших во время аварии при эксплуатации объекта.

Внешними физическими причинами разрушений могут быть коррозия, эрозия, циклические или ударное действие нагрузок, вибрации, воздействие ветра и другие экстремальные явления, как например, землетрясения. Обычно эти внешние факторы, действуя совместно с нагрузкой от собственного веса, могут привести к появлению больших напряжений, могущих превысить предельные их значения. Ситуация становится еще более опасной, если величина нагрузки на мостовое сооружение и так велика (например, при пропуске сверхнормативной нагрузки) и тогда даже небольшое дополнительное усилие может привести к наступлению предельного состояния.

Последствия, к которым может привести разрушение мостового сооружения:

- перерыв в движении транспорта по соответствующей дороге;
- необходимости привлечь полицию и скорую помощь для разрешения конфликтных ситуаций, и оказания помощи пострадавшим;
- необходимость организации объезда или вообще организации альтернативного маршрута;
- необходимость проведения аварийных ремонтных работ с последующим ремонтом сооружения с целью его восстановления;
- проведение судебных экспертиз с целью выяснения степени вины участников проекта;
- необходимость проведения реконструкции мостового сооружения;
- поврежденные мосты должны быть заменены более эффективными сооружениями с использованием современных методов проектирования и строительства.

Согласно Национальному приложению к Еврокоду EN 1991-1-7 (Еврокод 1: Воздействия на сооружения – Часть 1-7: Основные воздействия – Особые воздействия) существуют следующие виды воздействий:

Особое (аварийное) воздействие (accidental action) – определяемое или неопределяемое воздействие, как правило, кратковременное, но значительной величины, вероятность возникновения которого в течение расчетного срока эксплуатации несущей конструкции небольшая, но в большинстве случаев вызывает тяжелые последствия, если не предприняты соответствующие меры.

Определяемые аварийные воздействия (identified accident actions) – воздействия, для которых известны и могут быть предварительно заданы их интенсивность и распределение по пространству (по несущей конструкции) и во времени (например, взрывные воздействия на производстве и в быту, как правило, являются определяемыми; можно отметить, что все временные воздействия, рассматриваемые в EN 1990, являются определяемыми).

Неопределяемые (свободные) аварийные воздействия (free action) – воздействия, интенсивность и распределение по пространству (по несущей конструкции) и/или во времени которых заранее не определены (например, большинство взрывных воздействий при террористических актах являются неопределяемыми).

Также в этом документе используется такое определение понятия **живучесть** (robustness) – это свойство конструкции противостоять таким событиям, как пожар, взрыв, удар или результат человеческих ошибок, без возникновения повреждений, которые были бы непропорциональны причине, вызвавшей повреждения.

Прогрессирующее разрушение (progressive collapse) – цепная реакция разрушений, последовавшая за локальным разрушением сравнительно небольшой части конструкции. Ущерб от прогрессирующего разрушения не пропорционален ущербу, инициировавшему это разрушение.

Также в этом документе приводится следующая классификация особых (аварийных) воздействий:

- сейсмические воздействия;
- опасные метеорологические явления, приводящие к повышенным ветровым нагрузкам на здания, сооружения;

- воздействия, обусловленные деформациями основания, сопровождающимися коренным изменением структуры грунта или оседанием его в карстовых районах и районах горных выработок;
- нагрузки, вызываемые резкими нарушениями технологического процесса, временной неисправностью или поломкой оборудования;
- взрывы снаружи или внутри здания, сооружения (бытовой газ, взрывоопасные газовые смеси и жидкости);
- ударные воздействия;
- пожарные нагрузки;
- транспортные аварии (ДТП, авиационные катастрофы);
- аварии зданий и сооружений или значительные повреждения их несущих конструкций, вызванные одной из следующих причин:
 - ошибки в проектах, в том числе связанные с несовершенством требований норм;
 - дефекты материалов.
- аварии, связанные с человеческим фактором: недоброкачественное производство работ (при строительстве или монтаже оборудования).

Проблеме живучести сооружений (в том числе и транспортных) посвящены публикации [9-19]. Далее рассмотрим примеры аварий и разрушений транспортных сооружений с элементами их анализа.

2. Примеры аварий мостовых сооружений с анализом причин

а. Аварии вследствие недостаточной надежности и расстройств соединений

Мозырский мост через р. Припять. Повторные производственные операции – расклепка, вторичная склепка элементов, пострадавших во время пожара, – оказались одной из причин аварийного состояния Мозырского моста через р. Припять [20, 21]. При восстановлении моста в 1922 году были использованы пролетные строения двух других мостов: Подольского – через р. Днепр и Гурьевского – через р. Южный Буг. Во время испытания пролетного строения Мозырского моста в 1925 году два наиболее мощных сжатых почти одновременно один за другим выпучились из плоскости ферм внутрь моста: в одной ферме – на 1460 мм, в другой – на 905 мм. При расклепке и вторичной склепке элементов, подверженных пожаром, естественно, увеличились заклепочные и болтовые отверстия. Болты в конструкциях моста «играли», что создавало незначительную жесткость соединений.

В конце 1967 года обрушились два металлических пролетных строения пятипролетного автодорожного моста [22]. Мост имел два крайних пролета по 42,5 м и три средних по 88 м. Мост был полностью смонтирован, в трех первых пролетах была закончена укладка железобетонной плиты проезжей части. На двух пролетах (2-3 и 3-4) были сложены плиты для проезжей части последующих пролетов.

Рисунок 1. Пятипролетный автодорожный мост [22]:

а) фасад с железнодорожными пролетными строениями; б) фасад с автодорожными пролетными строениями; в) план пролетных строений

Непосредственной причиной обрушения явились потеря местной устойчивости фасонки опорного узла и срез заклепок примыкающей к ней домкратной балки. Максимальное усилие, которое могли воспринять эти заклепки, работая в упругой стадии, не превышало 1220 кН; между тем, как показал поверочный расчет, возникшие усилия достигали 2700 кН. Столь значительное перенапряжение заклепок вызвало неизбежный срез прикрепления домкратной балки к опорному узлу, что в свою очередь содействовало быстрому нарастанию усилий и еще большему деформированию фасонки опорного узла.

Вместе с тем, производство монтажных работ велось с рядом нарушений технических условий и правил производства работ. Особенно существенным нарушением, повлиявшим на общую жесткость и устойчивость моста, является слабое прикрепление вертикальных и горизонтальных связей, причем это обстоятельство усугублялось в процессе монтажа снятием нижних распорок поперечных связей опорных рам, которые обеспечивали горизонтальную и поперечную жесткость системы при работе ее как на вертикальные, так и на горизонтальные нагрузки. Другим отступлением от правил производства работ является недостаточная постановка пробок, отсутствие чистых болтов и совершенно недостаточное крепление ряда фасонки горизонтальных и поперечных связей.

17 июля 1987 года обрушился пешеходный мост в отеле «Hyatt Regency» (Канзас, США), в результате погибли 114 человек. Пешеходный мост длиной 36 м с шириной прохода 2,5 м в два яруса был подвешен к перекрытию пятого этажа подвесками диаметром 32 мм. Ярусы моста расположены на уровне четвертого и второго этажей [23]. Непосредственной причиной обрушения коробчатой балки моста стало продергивание подвески из шайбы с гайкой на верхнем поясе (верхний ярус) коробчатой балки. По первоначальному проекту была предусмотрена подвеска из непрерывных стержней на оба яруса коробчатой балки. Для облегчения ведения монтажных работ, подвески были выполнены из двух отдельных частей – для верхнего и нижнего ярусов соответственно. Верхний конец подвески нижнего яруса и нижний конец подвески верхнего яруса крепились гайками отдельно на настиле верхнего яруса. Эта, казалось бы, эквивалентная замена привела к удвоению нагрузки на резьбовое соединение верхней подвески. Перерасчет показал, что сооружение не отвечало требуемой по нормам грузоподъемности.

Рисунок 2. Обрушение моста в отеле «Hyatt Regency» в США, 17.07.1987 г. [23]

21 октября 1994 года в Сеуле внезапно обрушился 50-метровый участок руслового пролетного строения сталежелезобетонного автодорожного моста Сонг-Су через реку Хан на четыре дорожные полосы. Авария произошла в 7 ч 40 мин утра; она сопровождалась падением в реку с высоты 15 м пассажирского автобуса и нескольких автомобилей, в результате чего погибли 32 человека. Мостовой переход Сонг-Су общей длиной 1062 м (один из семнадцати мостов через реку Хан в Сеуле), построенный в конце 1970-х годов и рассчитанный на срок эксплуатации сто лет, был решен проектировщиком как консольно-подвесная система. Его русловая часть состоит из пролетных строений длиной по 120 м, каждое из которых образовано шестью (по три у любой опоры) консольными стальными фермами длиной по 28,8 м и подвесной частью из трех аналогичных ферм, поверх которых уложена железобетонная плита проезжей части. При проектировании моста в качестве расчетной была принята равномерно распределенная нагрузка от стандартного автомобиля DB18 (трехосный грузовой автомобиль массой 32,4 т). Однако в 1982 г. распоряжением Министерства строительства страны максимальная нагрузка для мостов данного класса была повышена, практически без перерасчета их конструкций, до нагрузки автомобиля DB24 (43,2 т).

Рисунок 3. Обрушение автодорожного моста Сонг-Су в Южной Корее, 21.10.1994 г. (источник: журнал «Вестник мостостроения», <http://www.mostow.ru>)

Мост эксплуатировался в условиях интенсивности движения порядка 199 тыс. автомобилей в сутки (в 1994 г. – в среднем 134 тыс.), среди которых были нередки транспортные средства массой 60 т и более.

По результатам первичного исследования, проведенного осенью 1994 г. правительственной комиссией, в качестве непосредственной причины падения подвесного пролета моста Сонг-Су было названо развитие усталостных трещин в вертикальных металлических подвесках (узкополочные двутавровые элементы заводского изготовления), соединявшие подвесные фермы с консольными. Аналогичные дефекты наблюдались и в пролетных строениях данного моста. Соединительные шпильки, обнаруженные в разрушенных связях, были целы. Отмечалось также постоянное нагружение моста сверх проектного, возможность недостаточно ответственного контроля за качеством импортного конструкционного материала при его приемке и низкое качество монтажных сварных швов. В процессе выполнения перечисленных работ было выявлено множество дефектов сварных швов и болтовых соединений. В сварных швах шлак можно было крошить рукой; вместо некоторых сварных соединений были просто наварены накладки из арматурных стержней. Нередко болты располагались слишком близко к краю фасонки, многие из болтов не были затянуты, а в местах, где болтовые отверстия не совпадали, вообще отсутствовали. Двутавровые элементы подвесок были изготовлены с применением угловых сварных швов вместо сварки встык. В стенках многих из них наблюдались трещины.

Согласно итоговому заключению экспертов, само по себе проектное решение пролетного строения моста Сонг-Су не содержит серьезных ошибок и соответствует техническим нормам своего времени. Качество стали, также оказалось вне подозрения. По-видимому, развитию трещин способствовало применение изготовителем металлоконструкций электросварки двойным швом с частичным проплавлением основного металла. Этот шов ошибочно приравнивался по усталостной прочности к сварке встык с полным проплавлением. В свою очередь, идеальное состояние качественно выполненной железобетонной плиты проезжей части сыграло роль фактора, усыпляющего бдительность служб эксплуатации моста.

В 2006 году произошло разрушение стальных конструкций главных балок и ортотропной плиты проезжей части автодорожного моста через протоку Юганская Обь в районе города Нефтеюганска [24]. Разрушение конструкций произошло в процессе продольной надвижки пролетного строения. Конструкции были изготовлены из проката марки 15ХСНД-2 по ГОСТ 6713 и 15ХСНДА-2 по ТУ 14-1-5120-92. Тип исполнения – северное А². Предварительная гипотеза разрушений была связана с неудовлетворительным качеством стального проката. В связи с этим были проведены детальные комплексные исследования его потребительских свойств: предела текучести и временного сопротивления, относительного удлинения и ударной вязкости, а также химического состава, твердости, характеристик в изломе надрезанных образцов. Результаты исследования оказались положительными и не выявили каких-либо отклонений от требований ГОСТ 6713 и ТУ 14-1-5120-92. Натурное обследование поврежденных конструкций показало, что хрупкие разрушения были инициированы резкими концентраторами напряжений в виде выкружек стенки в стыках главной балки на высокопрочных болтах. Трещины распространились от концентраторов вверх по стенке и охватывали растянутые зоны ортотропной плиты. Отрицательное влияние на хрупкое разрушение конструкций, безусловно, оказали остаточные напряжения от сварки и напряжения от натяжения высокопрочных болтов, а также импульсные динамические воздействия при надвижке пролетного строения. Стальной прокат обладал в данном случае значительными запасами пластичности, однако они не были реализованы в условиях сложного напряженного состояния металла в зоне сильных концентраторов напряжений при

² Комплексное исследование механических свойств, химического состава и структуры металлопроката ортотропной проезжей части моста через протоку Юганская Обь в районе г. Нефтеюганска в зоне разрушения пролетного строения / Научно-техн. отчет ОАО ЦНИИС по теме ИС-06-738-09. – М., 2006.

сравнительно небольшой для конструкций северного А исполнения отрицательной температуры (минус 30 °С).

Рисунок 4. Мост через протоку Юганская Обь в районе города Нефтеюганска, вид со стороны старого моста (фото авторов)

б. Аварии по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки

12 марта 1857 года произошло крушение железнодорожного моста через канал Дежардан, Онтарио (Канада) из-за появления дополнительных усилий вследствие поломки передней оси локомотива. В результате катастрофы погибли 59 человек.

29 июня 1864 года произошла крупная катастрофа в Канаде на железнодорожном разводном мосту Сен-Илет, около Мон-Сен-Илер, город Квебек. Пассажирский поезд проехал по разведенному мосту, не заметив запрещающий сигнал семафора. В результате 100 человек погибли, 99 были ранены.

Несоблюдение установленных габаритов перевозимых грузов и отсутствие наблюдений за их закреплением явилось причиной аварии железнодорожного моста в городе Мидвил (США) в 1902 году [21]. Однопутный мост имел три пролета: два крайних – по 33 м и средний – 88,7 м. Мост располагался в плане на кривой. Товарный поезд, проходивший по мосту, состоял из паровоза и 28 вагонов. Паровоз и 20 вагонов благополучно проехали, четыре рухнули вместе с мостом в реку, а четыре остались на пути, не успев взойти на мост. Авария произошла из-за того, что вагоны, упавшие вместе с мостом, были нагружены тяжелыми мостовыми фермами и балками, которые не были, как следует, закреплены: балки лежали на платформе наискось, были стянуты и прикреплены к платформе легкими связями. При движении поезда балки сместились и, выдававшимися в сторону фасонками, ударили о ферму моста, вызвав его крушение.

1964 году произошло повреждение снегоочистителем стойки фермы путепровода 18 пути в городе Кинель Самарской области.

Рисунок 5. Поврежденная стойка фермы путепровода
18 пути, Кинель, 1964 г. (источник: сайт Самарской испытательной станции)

В 1985 году плавучий док, проходящий под Володарским мостом через реку Неву в городе Санкт-Петербурге, блокировал механизм, разводящий крылья моста, задев их. Трубчатая арматура не выдержала перенапряжения. Сооружение открыто в 1936 году. Длина моста 325 м, ширина – 36 м. По мосту движется городской транспорт всех видов. В своем первоначальном виде мост имел три пролета из железобетона, два крыла центрального пролета разводились. При создании моста реализовались некоторые технологические новации. В области технологий применена трубчатая арматура, которая представляла собой металлические трубы, заполненные бетоном. Впервые при создании моста была применена сварка, с ее помощью сваривался металл ферм, перекрывающих разводной пролет.

Рисунок 6. Володарский мост в городе Санкт-Петербурге (источник:
<https://yandex.ru/images/search?text=володарский%20мост%20снб&noreask=1&lr=194>)

1984-1985 гг. произошло обрушение пролетного строения пешеходного путепровода через железнодорожные пути и ул. Восточная в Екатеринбурге. Пешеходный путепровод железобетонный, балочный, изготовлен по типовому проекту Уралгопротранса. У самосвала, проезжавшего под путепроводом, по какой-то причине во время движения сработало устройство подъема кузова. В результате этого произошел удар кузовом автомобиля по пролетному строению, которое соскочило с опорных частей и рухнуло на проезжую часть. В результате пострадали, по меньшей мере, два человека.

13 мая 1998 года в г. Гурьевске Кемеровской области обрушился путепровод через железнодорожные пути на автодороге Гурьевск-Белово. Причиной аварии стало разрушение

одной из опор проходившим под мостом железнодорожным краном, машинист которого не опустил крановую конструкцию на платформу.

12 октября 2004 года в результате столкновения цементовоза марки «КамАЗ» с железобетонной опорой пешеходного моста на 23-м километре Ленинградского шоссе, недалеко от торгового комплекса ИКЕА в Химках, произошло обрушение пролета моста на проезжую часть автомобильной дороги, повреждены две опоры из трех. Пешеходный мост железобетонный балочный, был выполнен по разрезной схеме. В результате ДТП три человека погибли, еще три человека с ранениями различной степени тяжести госпитализированы. По распоряжению Правительства Москвы было принято решение полностью демонтировать мост и возвести новый – 26.10.2005 года новый пешеходный мост на 23-м км Ленинградского шоссе был открыт.

Рисунок 7. Обрушение несущих конструкций пешеходного моста на 23-м километре Ленинградского шоссе, 12.10.2004 г. (источник: <http://www.stroi.ru>, <http://www.NEWSru.com/russia>)

19 сентября 2006 года в Рязанской области на перегоне Листвянка – Перевлес (224-й км Рязанского отделения Московской железной дороги) из-за нарушения водителем трейлера «MAN» правил провоза негабаритных грузов произошло обрушение конструкций железнодорожного путепровода в результате удара негабаритного груза (экскаватора) по одной из опор моста. Инцидент произошел в 25-ти километрах юго-восточнее Рязани на 217-м километре автодороги Москва-Челябинск, рядом с селом Болошнево. В результате чего, железобетонное пролетное строение сдвинулось. Вскоре на путепровод вошел тяжелый грузовой состав. Поврежденная опора стала разрушаться, что повлекло за собой обрушение двух пролетных строений. 7 цистерн с нефтепродуктами отцепились от железнодорожного состава, одна цистерна упала с моста и загорелась, сошел с рельсов локомотив. На месте обрушения моста разлились нефтепродукты на площади 1 тыс. кв. м.

Рисунок 8. Авария в Рязанской области на перегоне Листвянка-Перевлес, 19.09.2006 г. (источник: <http://www.paravoz.com>; <http://www.Gazeta.ru>)

6 апреля 2007 года при перевозке гусеничного крана с помощью тягача в результате несоблюдения установленного габарита (не более 4 м) произошло столкновение с пролетным строением железнодорожного моста по ул. Мира в г. Орше. Транспортным средством была сдвинута балка одного из пролетов на пять сантиметров, разрушена средняя часть балки и разорван арматурный стержень нижнего пояса. Это не первое подобное происшествие с этим мостом – несколько лет до инцидента он также был поврежден негабаритным грузом проезжавшего автомобиля.

16 августа 2007 года был деформирован коммуникационный путепровод теплоцентрали в районе пересечения МКАД с Варшавским шоссе. Инцидент произошел в результате столкновения автотранспортного средства (фуникулер для подачи бетона марки IVECO) с металлическим пролетным строением коммуникационного перехода, которое сошло с опорных частей одной из железобетонных опор и упало одним краем на проезжую часть МКАД. Водитель автомобиля из-за низкой квалификации случайно запустил механизм раскрытия стрелы установленного на тягаче бетононасоса. Обычно этот механизм блокируется выключенным бетононасосом, но водитель, вероятнее всего, его также забыл выключить. Так как в рабочем положении стрела может достигать 35 метров в высоту, то при проезде под пролетным строением коммуникационного путепровода она зацепилась за несущую балку. В результате обрушения ни одна система не была повреждена. Пострадал водитель автомобиля.

Рисунок 9. Инцидент на пересечении МКАД
с Варшавским шоссе, 16.08.2007 г. (источник: ИА Вести.Ru)

13 декабря 2007 года произошла авария под путепроводом на 107 км железнодорожной ветки Сыня-Усинск из-за провоза негабаритных грузов. Согласно информации газеты «Усинская Новь», грузовой автомобиль перевозил большую ёмкость, не прошел по высоте под путепроводом и задел пролет моста. Ёмкость упала на опору моста, нанеся ей значительные повреждения [Информация получена: Газета «Усинская Новь», <http://www.usov.ru>].

Рисунок 10. Путепровод на 107 км железнодорожной ветки Сыня-Усинск, 13.12.2007 г. (источник: <http://www.usov.ru>)

27 сентября 2008 года произошло обрушение пролетного строения строящегося пешеходного путепровода на проспекте Нобеля в г. Баку (Азербайджан). Пешеходный путепровод планировалось сдать в эксплуатацию 5 октября 2008 года. Авария произошла из-за столкновения автомобильного крана с пролетным строением путепровода. Автомобильный кран двигался на высокой скорости с выдвинутой стрелой, стрела зацепилась за металлоконструкции пролетного строения, в результате чего пролетное строение, не имеющее прикрепления на опорах, соскользнуло и упало на кран. Для ликвидации последствий аварии поврежденные металлоконструкции были демонтированы, так как пришли в негодность. Во время происшествия никто не пострадал.

Рисунок 11. Обрушение пролетного строения строящегося пешеходного путепровода на проспекте Нобеля в г. Баку 27.09.2008 г. (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

Мост через р. Иртыш в Омской области. 29 сентября 2008 года в результате ДТП на охраняемом переезде перегона Черлак-Иртышское Омского отделения Западно-Сибирской железной дороги, по вине водителя произошел сход 23 вагонов грузового поезда с разрушением одного пролета длиной 110 метров железнодорожного моста нечетного направления через реку Иртыш. Во время падения мостового пролета также были допущены повреждения второго моста четного направления. Характер повреждений обоих железнодорожных мостов потребовал сложной многоэтапной технологии ремонта.

Рисунок 12. Вид моста через р. Иртыш в Омской области после катастрофы (источник: <http://forum.bridgearth.ru>)

16 октября 2008 года произошло обрушение пешеходного путепровода в г. Мариуполь Донецкой области в Украине. Путепровод через автомобильную дорогу и железнодорожные пути расположен в Приморском районе г. Мариуполь. Запроектирован по разрезной схеме 12+24+12, железобетонный, балочный, общей длиной 48 м, шириной 2,5 м. Из-за неисправностей тормозной системы, автомобиль «Камаз» с прицепом груженный зерном, совершил столкновение с опорой путепровода, в результате чего произошло обрушение самой опоры и двух смежных пролетных строений длиной 12 и 24 м. Водитель автомобиля получил травмы средней степени тяжести.

Рисунок 13. Обрушение пешеходного путепровода в г. Мариуполь, 16.10.2008 г. (источник: <http://forum.bridgearth.ru>)

21 ноября 2009 года произошло дорожно-транспортное происшествие, в результате которого водитель самосвала «Алтай-3310» поднятым кузовом, буквально снес один пролет пешеходного моста в г. Екатеринбурге на ул. Громова.

Рисунок 14. Пешеходный мост в г. Екатеринбурге на ул. Громова, 21 ноября 2009 г. (источник: http://bcrash.ru/wp-content/uploads/2009/11/clip_image0013.jpg)

18 декабря 2010 года произошло обрушение недостроенных конструкций пролетного строения пешеходного путепровода на км 30 федеральной трассы М-60 «Владивосток-Хабаровск», в северном пригороде г. Владивостока в районе Сахарного Ключа. Пешеходный путепровод возводили при реконструкции трассы, приуроченной к саммиту Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества, запланированному на 2012 год. Инцидент произошел в результате того, что подъемный механизм кузова автомобиля китайской марки «Ново» неожиданно сработал во время движения в момент проезда под строящимся пешеходным путепроводом. Поднятый кузов автомобиля задел балку пролетного строения, которая сошла с опор и упала на кабину автомобиля. По меньшей мере один человек погиб.

в. Аварии по причине отсутствия технического надзора

25 июня 1980 года произошло обрушение находившегося в аварийном состоянии автодорожного моста через р. Сараре в Венесуэле. В результате катастрофы более десяти человек погибло и пропало без вести, в воде оказались десятки автомобилей. Причинами случившегося стали отсутствие контроля за техническим состоянием и несвоевременность выполнения ремонта моста.

10 сентября 2005 года на автодороге Биаза-Северное произошло обрушение трех пролетных строений железобетонного автодорожного моста через реку Тартас в Новосибирской области. Мост построен в 1979 году, длина – 68 м, ширина – 8 м, высота – 13 м. В результате произошло полное разрушение двух средних сборно-монолитных несущих опор моста (№2 и №3) на отдельные элементы от устоев пролетных строений до уровня воды. По выводам строительно-технической экспертизы причиной обрушения явилась суммарная совокупность нарушений правил эксплуатации моста, в частности, наличие трещин в деформационных швах и на боковых поверхностях сборно-монолитных конструкций опор. Согласно материалам расследования, работы по текущему ремонту моста не соответствовали действующим строительным нормам и правилам, что привело к неудовлетворительному состоянию моста и его обрушению.

7 апреля 2008 года произошло обрушение автодорожного моста через р. Пшеха в г. Апшеронск Краснодарского края. Мост железобетонный балочный, был признан аварийным из-за ветхости конструкции за пять лет до происшествия. Движение автотранспорта по мосту было прекращено примерно за месяц до происшествия, однако, пешеходное движение из центра г. Апшеронска в пос. Заречный продолжалось. В результате смещения опор моста, произошло обрушение одного из пролетов в реку. По счастливому стечению обстоятельств, на мосту никого не было в момент обрушения.

10 апреля 2009 г. в центре г. Калуги, на Каменном мосту, построенном еще в 1785 году, в шестом часу вечера произошла серьезная авария. Трое рабочих, обслуживающие фонари уличного освещения, заехали на автовышке ЗИЛ-4333 на смотровую площадку моста, чтобы поменять перегоревшую лампу на уличном светильнике. Внезапно под тяжестью спецмашины задние колеса грузовика провалились, пробив мостовое полотно, и железобетонная плита рухнула в овраг. Лишь чудом автоподъемник не последовал вслед за плитой, мгновенно "осев" на задний противоподкатный брус ЗИЛа с повисшими над провалом задними колесами. В результате аварии на полотне моста образовалась двухметровая дыра. К счастью, никто из людей не пострадал. Движение по мосту было перекрыто для транспорта [Источник: ИА «REGNUM», <http://news.mail.ru>].

Рисунок 15. Каменный мост в Калуге (источник: <http://news.mail.ru>)

6 июня 2009 г. в Олекминском улусе Республики Саха обрушился пяти пролётный деревянный мост через речку Малая Черепаниха. Мост был построен более 50 лет назад и находился в аварийном состоянии. Причиной обрушения стали, скорее всего, большие перегрузки из-за тяжелой 12-тонной техники, которая возила по мосту грузы для строительства нефтепровода "Восточная Сибирь – Тихий океан". В таком же состоянии находится еще одно деревянное сооружение на речке Большая Черепаниха.

29 октября 2006 г. сошли с рельсов 16 вагонов, пять из них опрокинулись и упали с железнодорожного моста в р. Чумляк в районе Коркино (Челябинская область). Основная причина аварии – хищение накладок и подкладок железнодорожных путей (агентство «Урал-пресс-информ»). На момент аварии на большой площади железнодорожных путей направления ст. Коркино – ст. Дубровка не хватало необходимых крепежных деталей рельсов. Эксплуатирующая компания о факте хищения знала, но считала нецелесообразным отказаться от этого маршрута, ремонтно-восстановительные работы были выполнены только после произошедшей аварии.

21 апреля 2010 года в г. Лозовая Харьковской области произошло обрушение части путепровода через железную дорогу. Путепровод находится на автомобильной дороге «Харьков – Павловград» и пересекает железнодорожные пути на 928 км участка «Харьков – Лозовая». Путепровод железобетонный, балочный, длиной 250 м, габарит Г-7, ширина тротуаров – 1,5 м, был построен в начале 1960 года. В 1999 году путепровод был обследован и признан аварийным. Были введены ограничения по интенсивности движения (ограничение скорости движения до 40 км/ч) и нагрузке (ограничение общего веса одиночной колесной нагрузки до 15 тонн). Только в 2007 была начата разработка проектно-сметной документации на реконструкцию путепровода, которая на момент происшествия находилась на экспертизе. В результате одновременного проезда по мосту трёх большегрузных грузовых автомобилей произошли частичные разрушения девятой балки тротуарных блоков и перильного ограждения путепровода, длиной около 15 метров. Жертв и пострадавших нет.

Рисунок 16. Обрушение части железобетонного путепровода на станции Лозовой в Украине, 21.04.2010 г. (источники: <http://bcrash.ru>; <http://www.bridgest.ru>)

В начале октября 2010 года произошло обрушение двух деревянных автодорожных мостов в Александровск-Сахалинском районе Сахалинской области на автодороге местного назначения «Мгачи – Виахту»: один мост через реку Мангидай, другой – через реку Большая Хоэ. В результате сообщение между селами Виахту, Трамбаус, Хоэ и Танги, в которых проживают около 1200 человек, стало возможным только на транспорте повышенной проходимости, способном форсировать вброд местные речки. Оба моста были построены в начале 1970-х годов и не подвергались ремонту. Обрушение мостов вызвано деградацией материала конструктивных элементов и отсутствием технического надзора.

22 ноября 2010 года произошло обрушение пешеходного путепровода в г. Хельсинки, район Лаайасало в Финляндии. Причиной происшествия стало столкновение поднятой стрелы автомобильного крана с пролетным строением. В результате один человек погиб, трое получили ранения.

г. Аварии вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений

Неравномерная осадка грунта вызывает перекосы, перераспределение усилий между элементами конструкций, а в отдельных случаях – превращение статически определимых систем в системы статически неопределимые. Ненадежность оснований, неравномерная осадка, потеря устойчивости опорными конструкциями вызывают аварийные состояния.

В 1158 году берега Влтавы (Прага) соединил первый каменный мост в 500 метров длиной. В то время он был самым длинным в Европе. Он получил название Юдитин мост в честь жены чешского правителя Владислава II. В 1342 году Юдитин мост был разрушен сильнейшим наводнением. Одна из сохранившихся арок до сих пор находится в подвале костела Ордена Крестоносцев.

27 июня 1859 года произошло разрушение насыпи железнодорожного моста Спринбрук, расположенного в ущелье между Мишэвакой и Саут-Бендом в штате Индиана (США). Накануне катастрофы прошел сильный ливень, и водопропускная труба ниже насыпи устоя перестала справляться с подпором воды, при этом частично была заилена и засорена. При прохождении поезда, двигавшегося со скоростью 10-20 миль/час, разрушающаяся насыпь увлекла за собой в ущелье в поток воды весь поезд. В результате катастрофы из 150 пассажиров 42 человека погибли и не менее 60 получили ранения.

Рисунок 17. Катастрофа железнодорожного моста Спринбрук, 27.07.1859 г. [22]

Романовский мост через Волгу в г. Зеленодольске. В целях экономии металлических конструкций были изменены технические условия проекта в части сужения русла реки насыпкой с двух сторон дамб. После длительных перерасчетов, связанных с экономией строительных материалов, общая протяженность моста сократилась с 1493,5 м в длину до 960 м (6 пролетов по 160 м) [25]. Технические условия запрещали насыпку дамб из песка на илистой почве без предварительного укрепления ее каменными подушками, но это не смутило подрядчиков.

В итоге ледоход 1912 года срезал намытую 213-метровую верхнюю дамбу правого берега, уничтожив при этом несколько ферм и конструкций. Это был первый день ледохода, когда погибли лишь несколько рабочих. Вечером следующего дня смыло и нижнюю защитную дамбу правого берега. Тогда обрушились железные скрепы под новую ферму, утонул подъемный кран.

Возникла реальная угроза смыва главной, несущей железную дорогу, мостовой насыпи. Попытки оградить ее баркасами с камнем и плотами из бревен не увенчались успехом. Насыпь стала стремительно оседать. На ее подмостках стояла готовая ферма весом в 1392 т и длиной в 160 м. Одним концом она опиралась на готовый бык, а другим – на подмостки насыпи. Лишь только вода промыла землю под подмостками, как эта ферма рухнула с высоты 43 м.

Рисунок 18. Катастрофа при строительстве Романовского моста через Волгу в Зеленодольске в 1912 г. [25]

Рисунок 19. Романовский железнодорожный мост, 1913 год постройки [25]

Однопутный железнодорожный мост через р. Амур у г. Хабаровска был построен в 1913-1916 годах. Схема моста 6х35,8+18х127,4+36,7 м. Мост имеет 19 промежуточных опор и только один береговой устой был устроен в открытом котловане, а остальные опоры потребовали

кессонов. Глубина кессонов – 19,2 м над расчетным (по кессонам) уровнем воды. Максимальная площадь кессона составила 94 м². Девять кессонов были стальными, а остальные деревянными и железобетонными. Была только одна серьезная авария с кессоном №11. Железобетонный кессон, готовый к опусканию, стоял на искусственном островке. Из-за подмыва островка, кессон, весивший почти 3000 тонн, наклонился, и на нем образовались трещины. Железобетонный кессон был заменен деревянным [26].

5 апреля 1924 года ледоходом был разрушен Любекский мост через р. Даугава в г. Рига. Мост деревянный с решетчатой фермой, многопролетный, в средней части мост был разводной. Был возведен из готовых деревянных конструкций другого моста, привезенного с собой немецкой армией, всего за два месяца и открыт в 1917 г. Длина моста 540 м, ширина проезжей части 10,5 м. Разводные элементы моста были закреплены цепями. Мост возводился в спешке, и были допущены ошибки, которые впоследствии сыграли роковую роль в судьбе моста. Из-за нехватки времени не были произведены необходимые гидротехнические исследования и поэтому ледорезы, выполненные из дерева обитого железом, расположили под неправильным углом по отношению к течению реки. Весной 1924 года льдом были разрушены ледорезы, затем оторвался правобережный пролет моста и, через некоторое время, и вся центральная часть была унесена водяным потоком в сторону Рижского залива. Всего ледоход смыл семь ферм Любекского моста, протяженностью около 320 м.

*Рисунок 20. Любекский мост через р. Даугаву в Риге до
и после разрушения 05.04.1924 г. (источник: <http://ru.wikipedia.org>)*

В 1953 г. лахар (грязевой вулканический поток) уничтожил мост через реку Вангаэху в Новой Зеландии, погибло 151 человек.

3 ноября 1966 года произошло обрушение акведука через р. Арно во Флоренции, расположенной в Центральной Италии. Обрушение вызвано наводнением во Флоренции – самым сильным с 1557 года. В результате наводнения уровень воды в реке Арно превысил 3 м над расчетным. При обрушении акведука один рабочий погиб.

Рисунок 21. Мосты через р. Арно во Флоренции (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

В 1971 году произошло разрушение ряда железнодорожных мостов на Кругобайкальской железной дороге (КБЖД). Происшествия обусловлены затяжными ливнями, которые вызвали сильнейшие селевые потоки и паводки. Строительство КБЖД началось в конце 1899 года, а 29 октября 1905 года дорога была принята в постоянную эксплуатацию. В 1911-1914 годах были проведены работы по сооружению вторых путей. При строительстве мостов вместо природного камня активно применялся новый для тех времен материал – железобетон. В настоящее время на КБЖД имеется 248 мостов и виадуков [27, 28].

Рисунок 22. Строительство мостов на КБЖД (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

При строительстве автодорожного моста в Чувашии в 1985 г. при отсыпке конуса насыпи один из устоев сместился к руслу, вследствие чего произошло расслоение опорных частей типа РОЧ, растрескивание свай с изломом шкафной стенки [29]. Мост балочной системы запроектирован по схеме 3х15 м из типовых конструкций опор и пролетных строений под автомобильную дорогу IV категории. Устои моста – козлового типа на свайном основании из железобетонных призматических свай сечением 35х35 см. Промежуточные опоры – опоры стенки на свайном основании из двух рядов призматических свай также сечением 35х35 см.

Обследование моста, изучение проектной и исполнительной документации позволили установить ряд факторов, способствовавших аварии:

- несоответствие проектных грунтово-геологических условий фактическим. Вместо чередующихся слоев связного грунта в основании опор на глубине 2-3 м залегал мощный слой трещиноватого известняка. Как выяснилось, в ходе проектирования створ моста был сдвинут на несколько десятков метров от первоначального варианта, о котором имелись грунтово-геологические данные. Дополнительных изысканий проведено не было;
- замена при строительстве принятых в проекте конструкции опор (по согласованию с проектной организацией) на эквивалентные типовые. Так,

конструкция устоев козлового типа на свайном основании была заменена (на пределе применимости типового проекта серии 3.563-23, инв. №791/5) свайным устоем козлового типа. Промежуточные же опоры были выполнены гибкими свайными;

- погружение свай в ненарушенный грунт основания осуществлялось на максимальную глубину 3,5 м, о чем свидетельствовали сохранившиеся обрубки свай. Такая глубина погружения свай совершенно недостаточна для их надежного заземления при работе на горизонтальные нагрузки;
- отсыпка конуса велась в нарушение действующих норм глинистым грунтом;
- наклон упорного ряда свай устоя козлового типа оказался значительно меньше, чем предусмотрено проектом.

Повреждение устоев из-за их недостаточной устойчивости является весьма распространенной причиной аварии мостов – до 40-60 % [16]. Среди них особо выделяются наиболее предрасположенные к крену свайные устои козлового типа. Они отличаются простотой и высоким уровнем сборности. Поэтому их часто используют на пределе применимости типовых проектов без надлежащего обоснования расчетами возможных предельных состояний, учета пригрузки грунта основания массой подходов насыпей, возможных деформаций типа локального оползня и т. п. В описанном случае расчеты выявили перегрузку свай на величину до 150 % по изгибающему моменту и поперечной силе.

19 февраля 1963 года произошла катастрофа на железнодорожном мосту через р. Чанки, г. Хикори, штат Миссисипи (США). Грунт под опорами был размыт, что привело к смещению железнодорожного полотна и возникновению стыка между рельсами на мосту. Проходящий поезд сошел с рельс и упал в реку, около 40 человек погибли.

17 октября 1989 года во время крупного землетрясения (силой 7,1 балла по шкале Рихтера) в Калифорнии обрушился виадук в Окленде (42 жертвы) и пострадал автодорожный двухуровневый мост Окленд Бэй Бридж (Bay Bridge) на автостраде Interstate 80 через залив Сан-Франциско: стихия сдвинула на 17 см восточный пролет, обрушился 250-тонный железобетонный фрагмент проезжей части, погиб один человек. Мост Окленд Бэй Бридж был открыт 12 ноября 1936 года, общая длина мостового перехода около 7,18 км, высота моста 58 м. Начало строительства – 08.07.1933 г. Проезжая часть запроектирована для пяти полос движения автотранспорта, ширина 17,5 м. Наибольший судоходный пролет 430 м.

Eastern Span – Original and Replacement

Old span and new construction (2004)

New span appearance (ca. 2014)

Рисунок 23. Автомоторожный мост Окленд Бэй Бридж (Bay Bridge) восточная часть мостового перехода на автостраде Interstate 80 через залив Сан-Франциско (<https://yandex.ru/images/search?text=авария%20моста%20окленд%20бэй%20бридж%20в%20сан-франциско&type=image&lr=194&noreask=1&source=wiz>)

В декабре 1993 года льдом была разрушена часть мостовых конструкций Большого Петровского пешеходного моста, расположенного вблизи Крестовского острова через р. Малая Невка [30]. После реконструкции 1947 года деревянные пролетные строения заменены металлическими балочными. Мост шириной 18 м, имел 26 пролетов длиной от 5,5 до 13 м, пятый пролет со стороны правого берега был разводным, после чего на мосту было закрыто автомобильное движение, он был сужен до 2,2 м и сделан пешеходным.

Рисунок 24. Деревянный Большой Петровский мост
р. Малая Невка, г. Санкт-Петербург, существовавший до 2010 года [30]

14 июня 1993 года вследствие катастрофического паводка на р. Каква в Свердловской области произошли размыв плотины и прорыв дамбы Киселевского водохранилища. Прорвавшаяся вода затопила территории общей площадью 60 км², были разрушены 1

железнодорожный и пять автомобильных мостов. Причиной аварии стала недостаточная прочность гидросооружения. Общий ущерб – 63,3 млрд руб.

17 января 1995 года в результате землетрясения силой до 7,3 магнитуд по шкале Рихтера, произошедшего в южной части острова Хонсю в Японии в г. Кобэ и окрестностях, погибли 6434 человека и произошли катастрофические разрушения около 70 тысяч различных инженерных сооружений. Экономический ущерб составил более 147 миллиардов долларов США. Были повреждены в нескольких местах путепроводы скоростной автомагистрали Хансин, протяженностью несколько десятков километров.

Рисунок 25. Катастрофические разрушения

путепроводов скоростной трассы Хансин, 17.01.1995 г. (источник:

<https://yandex.ru/images/search?text=Рис.%20Катастрофические%20разрушения%20путепроводов%20скоростной%20трассы%20Хансин%2C%2017.01.1995%20г.&lr=194>)

04 марта 2001 года на севере Португалии неподалеку от города Кастело-де-Пайва (Castelo de Paiva) обрушился мост Хинце-Рибэйро через реку Дору (Douro). В воду с высоты 50 метров упали автобус и два автомобиля, погибли 59 человек. Причиной катастрофы стало

разрушение одной из опор старого моста из-за сильных ливней. По данным информантов мост был построен более ста лет назад.

Рисунок 26. Обрушение моста Хинце-Рибэйро через реку Douro в Португалии, 04.03.2001 г. (источники: <http://www.engineeringcivil.com>; <http://www.mossty.ru/>)

На Северном Кавказе в июне – июле 2002 года произошли многочисленные обрушения мостов, произошедшие в результате подъема уровня воды в горных реках более чем на 5 метров и возникшего паводка. Дожди, начавшиеся 17 июня 2002 года, местами носили затяжной характер. В результате появления дополнительных усилий из-за гидрологических явлений произошли обрушения конструктивных элементов более чем 137 пешеходных и автомобильных мостов. Например: нескольких пролетов автомобильного моста через р. Зеленчук в г. Невинномысск Ставропольского края, моста р. Подкумок в г. Кисловодске Ставропольского края, 49 автомобильных мостов в республике Дагестан, 17 пешеходных и 11 автомобильных мостов в Итум-Калинском районе Чеченской республики, 35 мостов в Карачаево-Черкесии, 13 автомобильных мостов в Северной Осетии, 10 автомобильных мостов в Ингушетии.

2 сентября 2002 года были разрушены девять мостов на юге Сахалина. Разрушения вызваны тайфуном «Руса», который принес сильные ливни в регион, в результате вода в реках поднялась на 2,5-4,5 м.

В августе 2003 года произошли разрушения двух мостов в Индии.

29.08.2003 г. – моста через р. Даманганга у г. Даман; моста через р. Уппанар у дер. Синдаратхоппу в южном штате Тамилнад. В обоих случаях причиной катастрофы называют разлив реки, вызванный муссонными дождями, приведший к разрушению опор моста. В первом случае погибли 26 человек, во втором – пострадали 12 человек. Причиной обрушения мостов могло стать их аварийное состояние. Мост на территории Даман имел одностороннее движение, был построен более 100 лет назад и находился в аварийном состоянии.

Рисунок 27. Катастрофа моста в Индии, август 2003 г. (источник: <http://www.newsru.com/world/29aug2003/most.html>)

11 мая 2005 года произошло разрушение подвесного низководного пешеходного моста через реку Верхнюю Тойму у её впадения в Северную Двину вблизи деревни Георгиевская (Верхнетойминский район Архангельской области). Обрушение моста произошло из-за неправильной его эксплуатации, погибли 4 человека. Мост рассчитан на проход 2-3 человек одновременно, фактически на мосту в момент обрушения находились 10 человек, которые спешили на рейсовый автобус, находящийся на другом берегу. В результате половодья уровень воды в реке поднялся на 5 метров по сравнению с нормой, кроме того, река разлилась, и образовалось очень сильное течение. Под тяжестью людей мост прогнулся, левый край дощатого настила зачерпнул воду и дополнительной нагрузки не выдержал один из проволочных канатов, удерживающих деревянные опоры. Часть моста оборвалась и перевернулась. По сообщению МЧС, в Архангельской области мостов такой конструкции построенных в шестидесятые годы XX в. более 20-ти, однако, подобный случай зафиксирован впервые. Последний раз мост ремонтировали в 1997 году, была произведена замена канатов, опор и настила. По мнению комиссии по ЧС района, мост мог выдержать одновременную нагрузку 20 человек, если бы не коснулся воды.

Рисунок 28. Мост на реке Теберда (конструкция аналогична подвесному мосту, обрушение которого произошло 11.05.2005 года в Верхнетойминском районе Архангельской области). (источник: <http://www.dvinainform.ru>)

30 апреля 2006 года в Турочакском районе Республики Алтай на 158 км автодороги Бийск – Турочак в результате подъема уровня воды в реке Лебедь, произошел подмыв и обрушение двух пролетов железобетонной балки жесткости висячего моста протяженностью 40 метров каждый и одной опоры из стальных прокатных элементов, в результате чего нарушено сообщение с несколькими населенными пунктами [Информация получена: РИА «Новости»].

Рисунок 29. Мост через р. Лебедь в Республике Алтай, 30.04.2006 г. (источник: <https://altapress.ru/story/v-turochakskom-rayone-obrushilsya-most-cherez-reku-lebed-zhiteli-chetireh-sel-otrezani-ot-raytsentra-24803>)

Мост Кантхо во Вьетнаме. Обрушение двух строящихся пролетов моста Кантхо в районе дельты р. Меконг произошло утром 26 сентября 2007 г. (рис. 30). Мост протяженностью 2,75 км и шириной 23 м должен соединить южную провинцию Виньлонг и Кантхо – крупнейший город в бассейне реки Меконг. По данным Госкомиссии страны по расследованию инцидента, один из двух рядов свай опирался на рыхлом песчаном грунте, а другой – на относительно плотном песчаном грунте, что привело к осадке основания фундамента этой опоры, а затем – обрушению всей конструкции опоры и строящейся части моста. Таким образом, основной причиной обрушения строящегося моста Кантхо стала неравномерная осадка и отклонение основания свайного фундамента одной из временных опор в результате проливных дождей.

Рисунок 30. Обрушение двух строящихся пролетов моста
Кантхо, 2007 г. (источник: <https://ria.ru/incidents/20071002/82021316.html>)

20 февраля 2008 года произошло обрушение реконструируемого автодорожного моста в южном бразильском штате Санта-Катарина. Проектом предусматривалось расширение дорожного полотна. Трое рабочих-строителей пострадали. Одной из вероятных причин трагедии называют появление дополнительных усилий в несущих элементах от гидрологических явлений, вызванных ливнем, не прекращавшимся в течение нескольких суток, в результате чего произошел разлив реки, уровень воды в которой поднялся на 8 метров. Ширина реки в этом месте составляет более шестисот метров.

Рисунок 31. Обрушение автодорожного моста в южном бразильском штате Санта-Катарина, 20.02.2008 г. (источник: <http://www.newstubu.ru>)

28 апреля 2008 года произошло обрушение 40-метрового пролета автодорожного моста через р. Лиахви около г. Гори в Грузии, находящийся на автомагистрали Тбилиси – Сенаки. Общая длина моста составляет 150 метров. Мост прослужил около 40 лет и в последние 20 лет несколько раз ремонтировался, последний раз – два года назад. Обрушение произошло из-за заметного подъема уровня воды в реке и подмыва одной из опор, в которой образовалась трещина. В результате ЧП разрушены две из семи опор моста. Сотрудники патрульной полиции примерно за 10 минут до обрушения успели перекрыть движение, что позволило избежать возможных жертв.

24 мая 2008 года в Сахалинской области произошло обрушение двух пролетов железобетонного автодорожного моста через р. Тымь. Мост был построен в 1977 году и связывал жителей сел Чир-Унвд и Иркир с поселком Адо-Тымово. Причиной случившегося называют подмыв шестой опоры моста в результате подъема уровня воды в реке.

Рисунок 32. Разрушенный автодорожный мост через р. Тымь на Сахалине
(источник: <http://www.regnum.ru>; <http://www.mostro.ru>; <http://viewsakhalin.ucoz.ru/photo>)

14 июня 2008 были повреждены автодорожный мост на севере японского острова Хонсю в результате землетрясения магнитудой 7,2 по шкале Рихтера, эпицентр которого находился в районе префектуры Ивате.

Рисунок 33. Последствия землетрясения на севере японского острова Хонсю (источник: <http://www.vesti.ru>)

13 июля 2008 года произошло частичное обрушение устоя моста через р. Самур в Магарамкентском районе Дагестана, который соединяет 10 населенных пунктов. Причиной инцидента называют паводок, вызванный обильными дождями, и значительный подъем уровня воды в реке. Мост был построен в 1994 году в качестве временного сооружения и был рассчитан на двухлетнюю эксплуатацию.

В июле 2008 г. на тротуаре подхода к мосту через Бердь на федеральной трассе М-52 «Сибирь» в опасной близости от проезжей части образовались провалы. Госприемка нового моста на бердском участке федеральной трассы состоялась 13 октября 2007 г. Подходы к мосту выполнялись позднее, а через две недели мост официально открылся. Длина моста 189 м. Вероятными причинами называют: сливные каналы водоотвода не справлялись с обильными дождями, произошел размыв грунта под тротуаром моста, слабое укрепление дамбы не выдержало размыва и колебаний моста от временной нагрузки (автомобильная дорога М-52 является самой интенсивно нагруженной трассой региона).

28-30 августа 2008 года произошло обрушение двух автодорожных мостов к северу и к югу от г. Гонаива на Гаити. Причиной обрушения послужил тропический шторм (по шкале классификации Саффира – Симпсона), получивший собственное имя «Ханна», который принёс проливные дожди, что привело к возникновению наводнения и массовых оползневых явлений. Ураган Ханна сформировался 28.08.2008 г., распался 07.09.2008 г. Примечание: при тропическом шторме скорость ветра составляет 17-33 м/с.

Рисунок 34. Траектория движения Урагана Ханна (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

18 апреля 2009 г. из-за ледохода разрушен мост под Алапаевском (Свердловская область). Ледяными глыбами были повреждены металлические опоры, в результате мост был сдвинут на 2 м по течению. Разрушенный мост восстановлению не подлежит [31].

Начиная с 11 июня 2009 г. был отмечен резкий подъем уровня воды в р. Камчатке и ее притоках. При осмотре конструкций моста через р. Андриановку (Камчатка) было обнаружено, что береговая опора моста подмыта до бетонной плиты основания, и из-под этой плиты продолжала вымываться гравийная насыпь. Появилась реальная угроза разрушения моста. В результате оперативных действий по укреплению береговой опоры (завезено 40 м³ железобетонных изделий и 238 м³ скального грунта) и расчистке завалов топляка под конструкциями моста, аварии удалось избежать.

Рисунок 35. Угроза разрушения моста через р. Андриановка, июнь 2009 г (источник: http://www.milkovo.ru/2006/06/19/damby_i_mosty_milkovskogo_rajiona_pod_ugrozoj_smyva.html)

25 июля 2009 года произошло обрушение 100-метрового пролета моста через р. Миньцань, неподалеку от г. Шеньду в провинции Сычуань в юго-западном Китае. Продолжающиеся несколько дней ливни подмыли почву в горном массиве, в результате массивный кусок породы сорвался с вершины горы и врезался в мост. По меньшей мере, поврежденными оказались семь автомобилей. Три человека погибли, 12 получили ранения.

20 ноября 2009 года произошло обрушение моста в г. Уоррингтон в северо-западном графстве Камбрия в Англии. Одиннадцать человек числятся пропавшими без вести. Вследствие мощного штормового фронта, пришедшего из Атлантики, на территории графства выпало небывалое количество осадков. Мощными водными потоками снесены семь мостов.

Рисунок 36. Обрушение моста в г. Уоррингтон
в графстве Камбрия в Англии (источник: <http://pamag.ru>)

05 января 2010 года после ливневых дождей и подъема уровня воды в реке Жакуи на 8 метров, произошло обрушение автодорожного моста в южном бразильском штате Риу-Гранди-ду-Сул, г. Агуду. Ширина реки в месте катастрофы составляет 600 метров. Трагедия произошла, когда толпа местных жителей собралась, чтобы посмотреть разлив. В момент обрушения на мосту находились 25-30 человек. Пострадали восемь человек и не менее 15 пропали без вести.

Рисунок 37. Обрушение автодорожного моста в южном бразильском штате Риу-Гранди-ду-Сул, г. Агуду, 05.01.2010 г. (источник: <http://www.vesri.ru>)

27 февраля 2010 года произошло обрушение путепровода на автостраде в г. Сантьяго в Чили. Путепровод железобетонный балочный. Причиной катастрофы стало землетрясение магнитудой 8,8 по шкале Рихтера, эпицентр которого находился в 317 км от г. Сантьяго, на глубине 59,4 км.

Рисунок 38. Последствия землетрясения
в г. Сантьяго, Чили, 27.02.2010 г. (источник: <http://kp.ru>)

11 марта 2010 года в результате резкого подтопления, быстрого снеготаяния и обильного выпадения осадков произошел прорыв Кызылагашской плотины в Казахстане. В результате стихийного бедствия на участках Сары – Озек – Уштобе – Матай Алматинского отделения железной дороги было разрушено и повреждено 8 железнодорожных мостов, из которых один разрушен полностью, у остальных – размыты устои и конусы. На перегоне Алажиде – Егинсу произошло разрушение трех пролетных строений и двух промежуточных опор железобетонного железнодорожного моста. Прервано сообщение на трех автомобильных дорогах. На автомобильной дороге Сарыозек – Коктал размыт устой моста через р. Майтобе, схема 1х22,16 м. У поселка Кызылагаш на автомобильной дороге Алматы – Устькаменогорск полностью разрушен мост через р. Кызылагаш, длиной 70 м.

Рисунок 39. Мост через р. Майтобе на автомобильной дороге Сарыозек – Коктал (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

Рисунок 40. Мост через р. Кызылагаш у поселка Кызылагаш на автомобильной дороге Алматы – Усть-Каменогорск (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

11 апреля 2010 года произошло частичное обрушение отдельных конструктивных элементов действующего автодорожного моста через р. Сырдарью в Казахстане. Паводковые воды размывли укрепительный конус береговой опоры действующего автодорожного моста при въезде в г. Кызылорда на 1809-м километре автомобильной дороги «граница Российской Федерации (на Самару) – Шымкент». В результате размыва произошло обрушение шести переходных плит из одиннадцати, укрепления конуса на площади 200 кв. м и четырех

тротуарных блоков. Мост был возведен в 2003 году на бюджетные средства. Тогда строители недооценили возможный подъем уровня воды в межсезонье.

Рисунок 41. Обрушение переходных плит действующего автомобильного моста через р. Сырдарью в Казахстане (источник: <http://pamag.ru>; <http://time.kz>)

28 апреля 2010 года в результате подмыва основания моста паводковыми водами, произошло разрушение конуса насыпи подхода к автомобильному мосту на стыке улиц Октябрьская и Матросова через р. Сухой ручей в г. Аше Челябинской области. Дорожное полотно проезжей части железобетонного моста просело, образовались глубокие трещины, возник риск обрушения пролетного строения. В связи с этим движение по мосту было закрыто, восстановление моста не планируется.

30 апреля 2010 года в результате паводковых вод произошло разрушение промежуточной опоры железобетонного автомобильного моста через р. Ушайка в г. Томске по ул. Балтийской.

Рисунок 42. Разрушение промежуточной опоры автомобильного моста в г. Томске (источник: <http://forum.bridgeart.ru>; <http://bcrash.ru>)

3 июня 2010 года произошел подмыв устоя и обрушение пролетного строения автомобильного моста через реку Иружа вблизи деревни Массальское в Ржевском районе Тверской области. Трехпролетный железобетонный мост, соединяющий деревню Орехово и деревню Массальское, был построен в 1970-х годах. Авария произошла вследствие значительного подъема уровня воды в реке, вызванного паводком. Пострадавших нет, движение по мосту временно приостановлено.

Рисунок 43. Автомоторожный мост через реку Иружа вблизи деревни Массальское в Ржевском районе Тверской области, 03.06.2010 г. (источники: <http://kp.ru>; <http://www.regnum.ru/news/>)

7 июня 2010 года произошло обрушение части дорожнго полотна автодорожного моста через реку Шокша в Сямженском районе Вологодской области. Пострадавших нет, однако в результате инцидента несколько деревень (около 800 человек) оказались отрезанными от райцентра. Причиной обрушения стал размыв русла реки из-за резкого подъема уровня воды в реке, вследствие ливня, прошедшего накануне, что привело к подмыву берегового укрепления и его обрушению.

23 июня 2010 года произошло обрушение железобетонных конструкций автодорожного моста в Глданском районе г. Тбилиси в Грузии. Предположительно, обрушение произошло из-за резкого подъема уровня воды в реке вследствие сильных дождей, прошедших накануне. В момент обрушения на мосту находился автомобиль, два человека погибли.

Рисунок 44. Обрушение автодорожного моста в Глданском районе г. Тбилиси в Грузии (источник: <http://www.vesti.ru>)

25 июля 2010 года произошло обрушение моста через р. И в уезде Луаньчуань провинции Хэнань в Китае. В этот день на уезд Луаньчуань выпало 155,3 мм осадков, что является историческим максимумом для данного района. К моменту обрушения скорость воды в реке достигла 3,15 тыс. куб. м/сек., при этом река несла в себе большое количество поваленных деревьев и мусора, что привело к обрушению сооружения. Обрушение произошло внезапно, и большое количество людей, находившихся на мосту, упали в воду. Погибли не менее пятидесяти человек.

В июле 2010 года (критическая дата 30 июля 2010 г.) наводнением было разрушен автодорожный мост на Каракорумском шоссе в провинции Хайбер-Пахтунхва в Пакистане. В результате длительной погодной аномалии были разрушены, по меньшей мере, 45 мостов в провинции Хайбер-Пахтунхва в Пакистане. Причиной обрушения мостов стали сильнеешие за последние 80 лет муссонные дожди. По данным метеорологической службы Пакистана за 36 часов выпало 300 мм осадков, в дальнейшем интенсивность осадков не уменьшилась. В ряде мест вода поднялась на 5,5 м.

Рисунок 45. Масштаб погодной аномалии в провинции Хайбер-Пахтунхва в Пакистане, июль 2010 года (источники: <http://archives.dawn.com>; <http://ru.wikipedia.org>)

6 декабря 2010 года произошло разрушение железобетонных элементов пролетного строения автодорожного моста Las Monjas на севере г. Гуаякиль в Эквадоре. Мост, длиной 120 м, был открыт за двенадцать лет до инцидента. Ежедневно этот мост обеспечивал пропуск 20 тыс. автомобилей, движение – по двум полосам. Исследование, проведенное в 2007 году Колледжем гражданских инженеров, определило, что конструкция имеет структурные недостатки. При строительстве моста опоры свай были установлены в торфяной слой, находящийся в устье реки, что предполагает неустойчивость конструкции. В период аварии проводилась реконструкция моста (около месяца), которая включала установку новых свай большей длины, проходящей через слой скалистой породы для обеспечения стабильности. Непосредственно перед аварией проводились работы по перфорации, чтобы установить новые сваи. Одна из причин связана с разрывом в верхнем скалистом слое дна заболоченной местности. В момент происшествия отмечено появление вибрации и постепенное разрушение конструкций моста. Люди, находившиеся на мосту, успели эвакуироваться, пострадавших нет, машина-перфоратор оказалась повреждена.

Рисунок 46. Авария при реконструкции автомобильного моста Las Monjas на севере г. Гуаякиль в Эквадоре, 06.12.2010 г. (источники: <http://rusecuador.ru>; <http://forum.bridgeart.ru>)

7 мая 2011 года произошло обрушение одного пролета и повреждение другого (смежного) пролета железнодорожного моста через реку Абакан в 7 км от станции Камышта на территории Аскизского района в Хакасии. Причиной аварии называют подмыв четвертой опоры моста, вследствие чего опора накренилась, один пролет упал краем в реку, другой оказался в подвешенном состоянии при опирании на накрененную опору. Мост металлический со сквозными фермами с параллельными поясами, выполненный по разрезной схеме, опоры моста железобетонные. Погибших и пострадавших нет.

Рисунок 47. Обрушение пролетного строения железнодорожного моста через реку Абакан на перегоне станция «Камышта» – станция «Алюминиевая», Хакасия, 08.05.2011 г. (источники: <http://pda.nr2.ru/>; <http://www.vg-news.ru/>)

Заключение

В статье 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. Указывается, что 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.

Разрушение мостового сооружения может привести к таким последствиям:

- перерыв в движении транспорта по соответствующей дороге;
- необходимости привлечь полицию и скорую помощь для разрешения конфликтных ситуаций, и оказания помощи пострадавшим;
- необходимости организации объезда или вообще организации альтернативного маршрута;

- необходимости проведения аварийных ремонтных работ с последующим ремонтом сооружения с целью его восстановления;
- проведение судебных экспертиз с целью выяснения степени вины участников проекта;
- необходимости проведения реконструкции мостового сооружения;
- поврежденные мосты должны быть заменены более эффективными сооружениями с использованием современных методов проектирования и строительства.

Приводится классификация особых (аварийных) воздействий согласно Национальному приложению к Еврокоду EN 1991-1-7.

В завершающей части статьи приводятся примеры ряда аварий мостовых сооружений с анализом причин, причем рассматриваются: аварии вследствие недостаточной надежности и расстройств соединений; аварии по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки; аварии по причине отсутствия технического надзора; аварии вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений.

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/14TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. с. 1-42.
3. Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2020 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махутов, Г.А. Павлова, Н.А. Шишкина. – М., 2011. – 320 с.
4. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: Монография / Под ред. В.И. Теличенко, К.И. Еремина. – М., 2011. – 428 с.
5. 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/pressa/bss-pse>. с. 1-9.
6. Енджиевский Л.В., Терешкова А.В. История аварий и катастроф: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2013. – 440 с.
7. Borjan Alesson. Understanding Bridge Collapse. Taylor & Francis Group, London, UK, 2008. 282 p.
8. Scheer, Joachim, Failed bridges: case studies, causes and consequences, Berlin: Ernst & Sohn, 2010, 321 p.
9. Ключева, Н.В. К анализу исследований живучести конструктивных систем при запроектных воздействиях [Текст] / Н.В. Ключева, А.С. Бухтиярова, Н.Б. Андросова // Строительство реконструкция. Опел ГТУ. – 2009. – № 4/24 (572). – С. 15-21.
10. Hal, S. A note of the I-35W bridge collapse / S. Hal // Journal Bridge Engineering, 2010. – Vol. 15(5). – PP. 608-614.

11. Jian-guo, Cai. Comparison of various procedures for progressive collapse analysis of cable-stayed bridges / Cai. Jian-guo, X.U. Yi-xiang, Li-ping Zhuang, Jian. Feng, Jin. Zhang // Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering), 2012. – Vol. 13(5). – PP. 323-334.
12. Starossek, U. Progressive Collapse of Bridges. Aspects of Analysis and Design / U. Starossek // Proceedings of the International Symposium on Sea-Crossing Long-Span Bridges, Mokpo, Korea, 2006. – PP. 1-22.
13. Wolff, M. Cable-loss analyses and collapse behavior of cable-stayed bridges / M. Wolff, U. Starossek // IABMAS, the Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. Philadelphia, USA, July 11-15, 2010.
14. Wolff, M. Robustness assessment of a cable-stayed bridge / M. Wolff, U. Starossek // IABMAS'08: International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Seoul, Korea. – July 13-17, 2008. – PP. 1-8.
15. Вуколов С.А., Бирюков О.Р., Кравец Д.Ю. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных условиях // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения. 2016. №1 (5), с. 46-50.
16. Обеспечение защищенности автомобильных мостов от актов незаконного вмешательства: учеб. пособие / Ю.В. Трофименко, Т.Ю. Григорьева, Г.И. Евгеньев, С.Б. Иванов; под ред. Ю.В. Трофименко. – М.: МАДИ, 2014. – 172 с.
17. Каганов, Г.М. Обследование гидротехнических сооружений при оценке их безопасности / Г.М. Каганов, В.И. Волков, О.Н. Черных. – М.: МГУП, 2001. – 60 с.
18. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. Научный обзор / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, Е.И. Шкуланов, Г.Л. Лобанов, Е.А. Савенкова, А.М. Кореновский. Новочеркасск. ФГНУ «РосНИИПМ». 2011. 105 с.
19. Разработка и создание комплекса мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений / Ш. Талипов, А. Юрченко, М. Оспанов, И. Джолдошалиев, А. Набиев, К. Баллыев. Алматы. 2013. 85 с.
20. Голов А.Д. Деформация раскосов ферм Мозырского железнодорожного моста. – НКПС, 1925.
21. Лашенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1969. – 184 с.
22. Шкинев А.Н. Аварии в строительстве. – М.: Стройиздат, 1984. – 324 с.
23. Hauck George F.W. Hyatt-Regency Walkway Collapse: Design Alternates // J. Struct. Eng. – 1983. – №11.
24. Платонов А.С. Уроки аварий металлических конструкций мостов // М.: Транспортное строительство №6, 2009. – С. 6-9.
25. Мюллер Г. Катастрофы Романовского моста. – Зеленодольск: «Наш Зеленый Дол» от 28 марта 2008 г.
26. Дальневосточная магистраль России / Сост.: В.Ф. Буркова, В.Ф. Зуев. – Хабаровск: Частная коллекция, 1997. – ISBN 5-7875-0002-4.
27. Хобта А.В. Обвалам не счесть числа, а селям нет преград // kbzd.irk.ru.
28. Хобта А.В. КБЖД – памятник инженерного искусства и уникального ландшафта // Земля Иркутская. – 2002. – №2.
29. Еремеев В.П. Аварии мостов. Причины и меры предупреждения: учеб. пособие. – Казань: Каз. инж. – строит. ин-т, 1994. – 76 с.
30. Большой Петровский мост // Дорожная держава: журнал. – 2010. – №28.
31. Казимова М. Под Алапаевском из-за ледохода разрушен мост. – Екатеринбург: «Новый Регион» от 18 апреля 2009 г.

Maystrenko Igor Yurievich

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

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: bridgeart@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 3

Abstract. The article acknowledges that engineers try to avoid the appearance of the bridge failure, and in case of destruction they investigate the causes of emergency situations and develop the ways to prevent their occurrence. It also specifies that, during the development of the newer normative documents ensuring the design of more secure bridges, the experience and lessons learned of the mistakes that caused the collapses and destructions of bridges are being used. The destruction of a bridge can lead to such effects:

- interruption of traffic on the relevant road; the necessity to engage the police and ambulance to solve conflicts and to assist the victims;
- the necessity to arrange a new bypass road or even to find an alternate route;
- the necessity to take care of emergency repairs with further repair of structure in order to restore it;
- forensic examinations in order to find out the level of guilt of participants in the project;
- the need for a bridge reconstruction; the damaged bridges to be replaced with more effective structures using the modern ways of design and construction.

The paper describes the classification of special (emergency) impacts in accordance with the National appendix to Eurocode EN 1991-1-7. In the next part of the paper you can see some examples of the bridge failures with analysis of the reasons, the following types of failures are being considered: the failures due to inadequate reliability and connection disruption; the failures due to non-compliance with established loading gauge and the impacts of vehicular live loads; the failures due to the lack of technical supervision; the failures due to the appearance of additional stresses and deformations because of geological, hydrologic, landslide developments and seismic events.

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. Eremin K.I., Makhutov N.A., Pavlova G.A., Shishkina N.A. (2011). Reestr avarij zdanij i sooruzhenij 2001-2020 godov. [*The register of failures of buildings and constructions 2001 to 2020.*] Moscow, p. 320.
4. Telichenko V.I., Eremina K.I. (2011). Bezopasnost' ehkspluatiruemyh zdanij i sooruzhenij: Monografiya. [*Safety of maintained buildings and constructions: Monograph.*] Moscow, p. 428.
5. 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).
6. Endzhievskiy L.V., Tereshkova A.V. (2013). Istoriya avarij i katastrof: monografiya. [*History of failures and disasters. Monograph.*] Krasnoyarsk: Sib. Feder. Univ., p. 440.
7. Borjan Aleson (2008). *Understanding Bridge Collapse*. London: Taylor & Francis Group, p. 282.
8. Scheer Joachim (2010). *Failed bridges: case studies, causes and consequences*. Berlin: Ernst & Sohn, p. 321.
9. Klyueva N.V., Buhtiyarova A.S., Androsova N.B. (2009). To the analysis of studies of the survivability of constructive systems under beyond-design impacts. *Building reconstruction. Eagle GTU*, [online], 4(24), pp. 15-21. (in Russian).
10. Hal S. (2010). A note of the I-35W bridge collapse. *Journal Bridge Engineering*, [online], 15(5), pp. 608-614.
11. Cai Jian-guo, Yi-xiang X.U., Li-ping Zhuang, Jian Feng, Jin Zhang (2012). Comparison of various procedures for progressive collapse analysis of cable-stayed bridges. *Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)*, [online], 13(5), pp. 323-334.
12. Starossek U. (2006). Progressive Collapse of Bridges. Aspects of Analysis and Design. *Proceedings of the International Symposium on Sea-Crossing Long-Span Bridges*, [online], pp. 1-22.
13. Wolff M., Starossek U. (2010). Cable-loss analyses and collapse behavior of cable-stayed bridges. *Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*. [Accessed 11-15 July 2010].
14. Wolff M., Starossek U. (2008). Robustness assessment of a cable-stayed bridge. *Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, pp. 1-8. [Accessed 13-17 July 2008].

15. Vukolov S.A., Biryukov O.R., Kravec D.Yu. (2016). Ensuring the survivability of bridge crossings on military highways in modern conditions. *Bulletin of the Military Academy of Material and Technical Supply*, [online], 1(5), pp. 46-50. (in Russian)
16. Trofimenko Yu.V., Grigor'eva T.Yu., Evgen'ev G.I., Ivanov S.B. (2014). Obespechenie zashchishchennosti avtomobil'nyh mostov ot aktov nezakonnogo vmeshatel'stva. [*Ensuring the protection of road bridges from acts of unlawful interference*. Ed. by Yu.V. Trofimenko] Moscow: MADI, p. 172.
17. Kaganov G.M., Volkov V.I., Chernyh O.N. (2001). Obsledovanie gidrotekhnicheskikh sooruzhenij pri ocenke ih bezopasnosti. [*Inspection of hydraulic structures in assessing their safety*.] Moscow: MGUP, p. 60.
18. Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Shkulanov E.I., Lobanov G.L., Savenkova E.A., Korenovskij A.M. (2011). Nadezhnost i bezopasnost gidrotekhnicheskikh sooruzhenii meliorativnogo naznachenii Nauchnyi obzor. [*Reliability and safety of hydraulic structures for reclamation. Scientific review*.] Novocherkassk: FGNU «RosNIIPM», p. 105.
19. Talipov Sh., Yurchenko A., Ospanov M., Dzholdoshaliev I., Nabiev A., Ballyev K. (2013). Razrabotka i sozдание kompleksa meropriyatij po obespecheniyu bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij. [*Development and creation of a set of measures to ensure the safety of hydraulic structures*.] Almaty, p. 85.
20. Golov A.D. (1925). Deformaciya raskosov ferm Mozyrskogo zheleznodorozhnogo mosta. [*Deformation of the braces of the Mozyr railway bridge trusses*.] People's Commissariat.
21. Lashchenko M.N. (1969). Avarii metallicheskih konstrukcij zdanij i sooruzhenij. [*Accidents of metal structures of buildings and structures*.] Leningrad: Stroyizdat, p. 184.
22. Shkinev A.N. (1984). Avarii v stroitel'stve. [*Accidents in construction*.] Moscow: Stroyizdat, p. 324.
23. Hauck George F.W. (1983). Hyatt-Regency Walkway Collapse: Design Alternates. *J. Struct. Eng.*, 11.
24. Platonov A.S. (2009). Lessons of accidents of metal structures of bridges. *Transport construction*, 6, pp. 6-9. (in Russian).
25. Mueller G. (2008). Katastrofy Romanovskogo mosta. [*Catastrophe of the Romanov Bridge*.] Zelenodolsk: "Our Green Dol". [Accessed 28 March 2008].
26. Burkova V.F., Zuyev V.F. (1997). Dal'nevostochnaya magistral' Rossii. [*Far Eastern Highway of Russia*.] Khabarovsk: Private collection. ISBN 5-7875-0002-4.
27. Irk. (2018). Khobta A.V. Flocks cannot count numbers, and villages have no barriers. [online] Available at: kbzd.irk.ru (in Russian).
28. Khobta A.V. (2002). CBRR – a monument of engineering art and a unique landscape. *Irkutsk Land*, 2. (in Russian).
29. Eremeev V.P. (1994). Avarii mostov. Prichiny i mery preduprezhdeniya: ucheb. posobie. [*Accidents of bridges. Causes and preventive measures: Textbook. allowance*.] Kazan: Kaz. eng. – builds. Inst., p. 76.
30. (2010). The Great Petrovsky Bridge. *Road Power: Journal*, 28. (in Russian).
31. Kazimova M. (2009). Pod Alapaevskom iz-za ledohoda razrushen most. [*Under Alapayevsk because of the ice break the bridge was destroyed*.] Ekaterinburg: "New Region". [Accessed 18 April 2009].