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

2017, Том 4, №4 / 2017, Vol 4, No 4 <https://t-s.today/issues/vol4-no4.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf>

DOI: 10.15862/14TS417 (<http://dx.doi.org/10.15862/14TS417>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №4 (2017) <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14TS417

For citation:

Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Y., Kokodeev A.V. [Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 2] Russian journal of transport engineering, 2017, Vol. 4, no. 4. Available at: <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (In Russ.) DOI: 10.15862/14TS417

УДК 624.04

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов¹
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия, Балаково
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

Овчинников Илья Игоревич

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

Майстренко Игорь Юрьевич

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

Кокодеев Артемий Витальевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
Аспирант
E-mail: artemkokodeev@gmail.com

Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2

Аннотация. В статье отмечается, 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. Приводятся ссылки на зарубежные публикации, посвященные анализу прогрессирующего разрушения 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. Далее приводятся соображения А.В. Перельмутера о прогрессирующем

¹ 410054, Саратов, Политехническая 77

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 последующей части статьи приводятся примеры разрушения мостовых сооружений, вызванных перегрузкой несущих конструкций, возникновением резонанса или усталостью материала, вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды.

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

Введение

Данная статья является в определенной мере продолжением статьи [1] этих же авторов, в которой на основе анализа результатов, проведенных авторами работ [2-7] 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. Этот перечень с примерами аварий и разрушений мостов будет продолжен в настоящей статье.

1. Состояние проблемы и постановка задачи

В публикации [8] справедливо отмечается, что предотвращение аварий сооружений остается одним из основных направлений научных исследований в строительной отрасли. Это же можно отнести и к отрасли транспортного строительства. Причем отмечается, что аварии строительных объектов происходят и в России [2] и за рубежом [9-12]. Анализ, проведенный в монографии [13] свидетельствует, что с вероятностью, равной 1,0 происходит 25 аварий в год, а вероятность аварий с человеческими жертвами равна 0,3.

Причем значительная часть аварий и обрушений носит прогрессирующий характер. Мы уже отмечали в статье [1], что в России проблемы прогрессирующего разрушения исследуются пока только применительно к зданиям и сооружениям промышленного и гражданского назначения (в Интернете можно найти уйму ссылок на соответствующие статьи и даже нормативные документы), но практически не рассматривается прогрессирующее разрушение мостовых сооружений.

За рубежом же можно обнаружить большое количество публикаций по прогрессирующему разрушению мостовых сооружений, причем с этой точки зрения нередко рассматриваются и давно произошедшие аварии мостов [14-19].

В СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» содержится такое требование по недопущению прогрессирующего обрушения мостов: пункт 5.35. «Расчетные схемы и основные предпосылки расчета должны отражать действительные условия работы конструкций мостов и труб при их эксплуатации и строительстве. При этом должна быть предусмотрена конструктивная схема мостового сооружения, не допускающая возможности прогрессирующего обрушения при выходе из строя одного или нескольких элементов в случае экстремальных природных или техногенных воздействий, а также потери эффекта регулирования усилий в мостовых конструкциях». Но о том, как это требование применительно к мостам выполнить, ни слова. Заметим, что термин «прогрессирующее обрушение» есть в ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» и трактуется он так: последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие начального локального повреждения.

Сошлемся также на недавнее выступление А.В. Перельмутера на семинаре SCAD (Москва, апрель 2017) на тему «Прогрессирующее обрушение и динамика конструкций при внезапном разрушении элемента». В его сообщении отмечается, что «Отечественное нормирование традиционно избегало системного рассмотрения аварийных воздействий. Они не представлены в СНиП «Нагрузки и воздействия», нет и других норм для этих воздействий. Их упоминание в ГОСТ 27751-2014 достаточно невнятно, десятки лет отсутствуют нормативные документы, где такие воздействия кодифицированы. А пока идет массовая спекуляция на понятии «прогрессирующее обрушение». Эта спекуляция в числе прочего инициируется неразберихой в нормативных документах».

В завершение сообщения автор формулирует 5 тезисов:

1 тезис: следует считаться с возможностью появления локальных отказов конструктивной системы. Полная защита от них принципиально невозможна. Следствие: задачей проектировщика является понимание происхождения таких разрушений, оценка вероятности их реализации в привязке к элементам конструкции, оценка возможных последствий (принцип понимания ситуации).

2 тезис: наиболее опасным из возможных последствий является цепное развитие разрушений (эффект домино). Следствие: в задачу проектировщика не входит анализ всей возможной цепочки прогрессирующих разрушений, требуется оценить только саму возможность или невозможность продолжения процесса локального повреждения (принцип контроля первого шага).

3 тезис: анализ происхождения чрезвычайной ситуации расширяет возможности проектировщика. Следствие: использование вместо реальных аварийных воздействий их условных аналогов облегчает расчет, но не исключает и другие меры защиты. Резервирование прочности несущих элементов является не единственным средством защиты зданий от прогрессирующего обрушения. От многих источников опасности можно защититься другим путем (против террориста нужен пулемет, а не дополнительное армирование).

4 тезис: Многие их исходных процессов связаны с динамическими эффектами. Следствие: Существующие рекомендации предполагают «удаление» некоторых несущих частей сооружения без моделирования этого процесса. Получается, что удаляемые элементы плавно и осторожно вынуты из системы, а это не так. Формальное следование имеющимся рекомендациям может привести к заметным ошибкам (принцип физичности).

5 тезис: если цепное развитие процесса неизбежно, то основной задачей становится его локализация и управление последствиями. Следствие: можно использовать один из двух известных методов локализации – непреодолимое препятствие (принцип брандмауэра) или

прерывание цепочки (принцип противопожарного разрыва). Также важна система организационных мероприятий (оповещение, эвакуация и спасение людей и т. п.).

Кстати вопросы недостаточности существующих нормативных документов для обеспечения безопасности сооружений поднимаются и в статье [20].

Далее будут рассмотрены примеры разрушения мостовых сооружений, вызванных причинами, не рассмотренными в статье [1].

2. Примеры аварий мостовых сооружений с анализом причин

а. Аварии, вызванные перегрузкой несущих конструкций

Катастрофа произошла в сентябре 1297 года, когда во время битвы у моста Стирлинг (Шотландское королевство) этот мост оказался перегружен атакующей тяжёлой конницей и обрушился. Тип конструкций – балочная эстакада.

В 1444 году (и 1588 г.) произошло полное разрушение моста Риальто в г. Венеция (Венецианская республика). Мост деревянный с разводной центральной частью. Перегрузка моста людьми произошла на свадьбе герцога Феррары.

2 мая 1845 года произошел разрыв ценных подвесок подвесного моста Ярмут в г. Грейт-Ярмут (Великобритания). Люди, столпились на мосту, чтобы посмотреть на клоуна, плывущего по реке в бочке, которую тянет гусь. Вес людей сместился, когда бочка проплывала под мостом, подвесные цепи с южной стороны порвались, и настил моста перевернулся. В результате катастрофы 79 человек утонуло, по большей части дети.

24 мая 1847 года пришел в негодность чугунный балочный железнодорожный мост Ди (Dee) в г. Честер через одноименную реку в Великобритании. Катастрофа произошла по причине ошибок при проектировании, перегрузки конструкций проходящим пассажирским поездом. В результате катастрофы пять человек погибли [21].

Рисунок 1. Катастрофа моста Dee в г. Честер, 24.05.1847 г. [21]

26 сентября 1860 года произошло обрушение железнодорожного моста Булл, г. Булбридж, графство Дербшир (Британия). Мост был полностью разрушен во время прохождения грузового поезда, когда локомотив уже успел проехать его. Причиной катастрофы стал выход из строя чугунных прогонов, пострадавших нет.

В 1907 году произошло крушение железнодорожного моста через реку Луару во Франции, ввиду того, что вовремя не были усилены конструкции [22]. Мост был построен и рассчитан на меньшие нагрузки, чем впоследствии на него были даны. Проходивший по мосту пассажирский поезд сошел с рельсов, разрушил проезжую часть и упал в реку. Основными

причинами аварии следует считать слабое прикрепление поперечных балок проезжей части к нижнему поясу ферм и существенное превышение расчетной нагрузки. Проезжая часть оторвалась от ферм и увлекла за собой поезд.

22 мая 2000 года более ста человек, включая детей, получили травмы в результате обрушения пешеходного путепровода в городе Конкорд, штат Северная Каролина, США. Трагедия произошла поздно вечером, когда около 180 тысяч зрителей покидали автодром «Лоуи», где проходили автогонки. 25-ти метровый пролет железобетонного балочного моста, соединяющего автодром с автомобильной стоянкой на высоте 4,5 м, рухнул на проходящую под ним четырехполосную автостраду. Лишь по счастливой случайности под бетонным мостом в тот момент никого не оказалось. Мост был построен в 1995 году и прошел госпроверку.

Рисунок 2. Обрушение пролета пешеходного моста в городе Конкорд штата Северная Каролина, США, 22.05.2000 (источники: газета «Коммерсантъ» №90 (1975) от 23.05.2000; газета «Труд» №092 от 23.05.2000, газета «Час «Ч» «118 (840) от 22.05.2000)

04 октября 2001 года девять человек, в основном дети и женщины, погибли в результате автомобильной аварии на одном из мостов в Кадорском ущелье (Грузия). Грузовик «КАМАЗ» с 20 пассажирами и грузом для пограничников направлялся в ущелье, когда первый же мост после Сакенского перевала, не выдержав груза, провалился в горную реку.

5 февраля 2004 года в Пекине обрушился Железный мост через водный канал в парке «Михонг». Это произошло во время традиционного праздника фонарей «Юаньсяо», когда сотни человек собрались на мосту, длиной около 100 метров, посмотреть пиротехническое шоу. Погибли 37 человек, как минимум 14 человек получили ранения.

14 мая 2005 года в Зугдидском районе Западной Грузии обрушился автодорожный мост через реку Ингури, находящийся близ села Хурча и связывающий его с селами Галльского района Абхазии, расположенными на противоположном берегу. Мост был восстановлен 26-29 июня 1994 года силами российских миротворческих войск после острой фазы грузино-абхазского конфликта. Причиной разрушения моста, не предназначенного для передвижения грузового автотранспорта, стал въезд на мост груженой автомашины КамАЗ. Мост обрушился в момент, когда грузовик проезжал через него, в результате автомашина упала в реку. Двое пассажиров успели выпрыгнуть из нее перед ее падением. [Источники: ИА «Новости – Грузия»; ИА «Кавказский узел»]

Рисунок 3. Мост через р. Ингури
(источник: <http://www.kavkaz-uzel.ru>)

Рисунок 4. Мост через р. Ингури (с левой стороны – Абхазия, с правой – Грузия)
(источник: <http://www.kavkaz-uzel.ru>)

23 мая 2006 года обрушился автодорожный мост через р. Кулу в Тенькинском районе Магаданской области. Происшествие случилось в районе 244 километра автодороги "Магадан – Якутск". Водитель грузового автомобиля не рассчитал массу перевозимого на автомобиле груза, въехал на мост, который не был предназначен для передвижения большегрузного транспорта. В результате деревянная конструкция моста рухнула вместе с автомобилем и грузом железобетонных опор в реку.

10 июля 2007 года произошло обрушение левой балки автодорожного моста через р. Чагода в Чагодощенском районе Вологодской области на федеральной дороге Вологда – Новая Ладога вблизи дер. Анисимово. В 1999 году была проведена реконструкция моста с расширением проезжей части. Вероятными причинами называют влияние процессов снижения вибрационной прочности вследствие интенсивного воздействия подвижной нагрузки. В результате инцидента было ограничено движение автотранспорта (только по одной полосе).

Мост автомагистрали I-35W через реку Миссисипи в Миннеаполисе (США, штат Миннесота) был построен в 1967 году в Миннеаполисе. Длина моста составляла 579 м, и по нему проходило 8 полос федеральной автомагистрали Interstate 35W. 1 августа 2007 года в час пик мост обрушился. В результате, 13 человек погибли, более ста получили ранения.

Рисунок 5. Фермы моста автомагистрали I-35W через реку Миссисипи [23]

В течение нескольких недель до момента обрушения на мосту велись дорожные работы. Во время следствия было выдвинуто несколько гипотез. Первая состоит в недостаточной проектной надежности стальных креплений прогонов на опорах моста. Мост стоял на четырех опорах. Согласно проекту, толщина стальных креплений, соединяющих прогоны, была различной: меньшей на опорах (конструктор посчитал, что для этих креплений будет использоваться другая сталь) и большей в пролете. По мнению экспертов, стальные крепления

могли не выдержать веса ремонтного оборудования и 100 тонн гравия, которые рабочие привезли на мост в день катастрофы. Кроме того, повредить детали моста могли отбойные молотки, которыми строители снимали верхний слой дорожного покрытия.

По мнению других специалистов, современные нагрузки на мост существенно увеличились по сравнению с теми, что были заложены в проекте, поток машин стал сильнее, увеличились вибрации, снизилась усталостная прочность металла. Было подсчитано, что за время эксплуатации по мосту проехали не менее 17 млн. тяжелых грузовиков. Также некоторые элементы подверглись значительному коррозионному износу в результате воздействия атмосферной среды и химикатов против обледенения дорожного полотна. Поскольку утонение стальных креплений было значительным, мост мог действительно обрушиться от повышенной нагрузки и растяжения металлоконструкций от температуры (в момент крушения температура воздуха была около 36 °C).

Рисунок 6. Вид моста через реку Миссисипи после обрушения [23]

Рисунок 7. Стальные крепления, соединяющие прогоны пролетной фермы, на опорах моста через р. Миссисипи в Миннеаполисе [23]

Комиссия, проводящая расследование крушения моста автомагистрали I-35W отметила, что еще 465 мостов в США построены по аналогичному проекту и требуют незамедлительного технического обследования и, возможно, реконструкции.

24 ноября 2007 года обрушился мост в населенном пункте Калапара в республике Бангладеш. Одной из причин называют перегрузку конструкций моста от веса беженцев, которые покинули юго-западное побережье страны из-за циклона (ураган «Сидр»,

обрушившийся на побережье Бангладеш 15-16 ноября 2007 года) и направлялись в центр по оказанию помощи. Три человека погибли и, по меньшей мере, сто – пострадали в результате обрушения моста с людьми.

Рисунок 8. Мост в населенном пункте Калапара в республике Бангладеш до обрушения (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

26 декабря 2007 года обрушился пешеходный мост в Непале вблизи населенного пункта Чунчу через реку Бхери, на котором находилось более 400 человек: канаты подвесок не выдержали перегрузки и оборвались. Люди падали в реку с сильным течением, погибли, по меньшей мере, 15 человек.

06 мая 2008 года в Ижемском районе Республики Коми при перевозке тяжеловесного груза полной массой 100 тонн без специального разрешения были повреждены десять мостовых переходов на трассе Ираель – Ижма – Усть-Цильма. Причиной стало несоблюдение эксплуатирующей организацией правил перевозки тяжеловесных грузов и перегрузка конструктивных элементов мостовых переходов. Предварительный осмотр мостовых переходов выявил наличие трещин в железобетонных балках пролетных строений, повреждение опор и опорных частей.

В ночь на 31 марта 2009 г. в селе Розтоки Путильского района Черновицкой области обрушилось пролетное строение автодорожного моста через р. Черемош, построенного после прошлогоднего июльского наводнения. Проектная грузоподъемность моста 30 тонн, однако, несмотря на это, без предварительного поверочного расчета, по мосту попытались транспортировать бурильную установку весом около ста тонн. Под весом техники, в три раза превышающей допустимые нормы, произошло обрушение пролетного строения моста. [Источники: ИА «NEWSru.ua: Новости Украины»; <http://www.mosty.ru>].

Рисунок 9. Мост через реку Черемош в Черновицкой области после обрушения пролета (источник: <http://www.mosty.ru>)

В июне 2009 г. во время ремонтных работ на Левандивском путепроводе во Львове (Украина) на железнодорожное полотно обрушилась железобетонная балка. Балку поднимали два крана, она треснула посередине и упала на рельсы. В результате повреждены две контактные опоры. Пострадавших в результате инцидента нет.

6 июля 2009 г. более двадцати человек получили ранения при обрушении пешеходного моста в г. Меррилвилл (Merrillville) штата Индиана в США. Катастрофа произошла во время празднования Дня Независимости, в это время на мосту находились более тысячи человек, собравшихся посмотреть на фейерверк, приуроченный национальному празднику.

4 августа 2009 года произошло обрушение пролета автодорожного моста через р. Мятая в Ульчском районе Хабаровского края на км 197 автодороги Селихино – Николаевск-на-Амуре. Мост деревянный, схема 2х16 м, построен в 1985 году. Никаких дорожных знаков с указанием максимальной нагрузки рядом с мостом установлено не было. Причиной обрушения стал проезд по мосту большегрузного автомобиля марки «Картинно», груженного десятью тоннами рыбы. Пострадавших нет, движение по мосту было временно приостановлено.

11 августа 2009 года на 106-м километре краевой автодороги Ачинск – Бирилюссы (Красноярский край) в результате несанкционированного провоза тяжеловесного груза произошло обрушение автодорожного моста через протоку реки Чулым. Причиной разрушения искусственного сооружения стал лесовоз марки «Volvo», перевозивший тяжеловесный груз массой в 50 тонн. Мост деревянный, пятипролётный, с гравийным покрытием проезжей части и двухполосным движением автотранспорта.

26 августа 2009 года на одном из островов Карибского моря, под тяжестью гусеничного крана обрушился мост. Это произошло, когда кран марки «Manitowoc» проезжал по мосту к месту, где происходило строительство другого моста. В этом происшествии никто не пострадал.

Рисунок 10. Обрушение моста на одном из островов Карибского моря, 26 августа 2009 г. (источник: <http://verticalnet.ru>)

13 сентября 2009 года в Липецке проводился второй день чемпионата и Кубка России по кольцевым гонкам. Второй, главный день гонок не обошелся без происшествий. Под тяжестью пешеходов рухнул временно сооруженный мост, перекинутый со стороны Соборной площади на улицу Зегеля и Ленина. Никто из пешеходов, переходивших в это время мост, не пострадал. Пешеходный мост организаторы быстро демонтировали и убрали с проезжей части.

Рисунок 11. Временный пешеходный мост в Липецке. <http://forum.bridgeart.ru>

7 октября 2009 года произошло обрушение автодорожного моста в поселке Запань Нова Кирилловского района. Авария произошла по причине халатности со стороны водителя грузового автомобиля с прицепом, перевозившего металлоконструкции. Вес машины почти в четыре раза превышал массу, на которую было рассчитано сооружение. Водитель по счастливой случайности не пострадал.

12 октября 2009 года обрушился автодорожный мост через реку Шивронь возле деревни Подосинки Киреевского района Тульской области. Конструкция моста не выдержала вес проезжавшего грузовика. В результате машина, груженная шлаком, оказалась в реке. Конструктивно мост, построенный в 1980 году, состоял из деревянных опор, металлических балок и деревянного настила. Авария произошла по причине потери устойчивости средних опор моста и обрушения части настила. В результате аварии никто не погиб.

Рисунок 12. Обрушение моста через реку Шивронь возле деревни Подосинки Киреевского района Тульской области, 12.10.2009 г. (<http://forum.bridgeart.ru>)

12 февраля 2010 года произошел инцидент на автодорожном мосту в Сальянском районе Азербайджана на км 72 автомагистрали «Баку – Астара». Длина моста составляет 80 м, ширина – 11,5 м. В результате движения перегруженных автомобилей по мосту, произошло разрушение нескольких подпорок. Движение автомобилей было ограничено – только по одной полосе. В январе 2010 года аналогичная ситуация возникла на автодорожном мосту на дороге Гаджикабул – Бахрамтеле.

15 февраля 2010 года произошло обрушение пешеходного висячего моста через реку Люцзян в уезде Хунъя юго-западной провинции Сычуань в Китае. Во время «Праздника весны» местные жители и многочисленные туристы вышли на прогулку и воспользовались мостом для перехода через реку. Одновременно на мосту оказалось слишком много людей. К тому же группа молодежи, остановилась в середине 65-метрового пролета, и стала его раскачивать и прыгать. В результате произошло разрушение одной из основных цепей, подвесок и

металлического настила. 28 человек упали с десятиметровой высоты в реку и получили травмы. Мост был построен в 1960-х годах, ремонтировался регулярно – последние ремонтные работы проведены в 2009 году.

Рисунок 13. Пешеходный мост через реку Люцзян в Китае
(источники: Деловая газета «Взгляд», <http://www.vz.ru>; <http://forum.bridgeart.ru>)

9 мая 2010 года произошло разрушение дощатого настила размером 3х2 м пешеходного моста через реку Орлик в г. Орле, соединяющим Детский парк со Стеллой. Происшествие произошло во время праздника, когда на мосту возникло массовое скопление отдыхающих, конструкции моста оказались перегружены, и находившиеся в это время на мосту с трехметровой высоты упали в воду. Пострадали десять человек.

Рисунок 14. Пешеходный мост через реку Орлик
в г. Орле (источники: «Вести Орел»; <http://forum.bridgeart.ru>)

23 августа 2010 года произошло обрушение пролетного строения автодорожного моста через р. Бисерть в пос. Первомайский Свердловской области. Мост деревянный бревенчатый, трехпролетный, был возведен в 1980-х годах, ремонту не подвергался. Происшествие произошло в результате проезда по мосту автомобиля марки «КрАЗ», перевозившего гусеничный трактор.

Рисунок 15. Обрушение пролетного строения автодорожного
моста через р. Бисерть в пос. Первомайский Свердловской области (источники: ИА
«Вести – Урал»; <http://forum.bridgeart.ru>)

11 февраля 2011 года произошло обрушение проезжей части пролетного строения автодорожного моста через реку Камчатка в районе поселка Ключи. Инцидент произошел в результате проезда грузового автомобиля с 20-ти тонным контейнером, который не учел ограничения по массе автомобиля. В результате происшествия автомобиль провалился на выезде с моста. Транспортное сообщение по направлению к Усть-Камчатску было прервано несколько дней (до 14 февраля 2011 года). Никто во время происшествия не пострадал.

15 февраля 2011 года произошло обрушение пролетного строения автодорожного моста через реку Киш в Шекинском районе Азербайджана. Обрушение 35-метровой части пролетного строения моста, общей длиной 75 м, произошло вследствие проезда по мосту перегруженного камнем-кубиком автомобиля марки «КамАЗ». Мост был построен в 1996 году на автодороге между населенными пунктами Шеки и Киш.

Рисунок 16. Автодорожный мост через р. Киш в Шекинском районе Азербайджана (источники: <http://ru.apa.az/search.php>; <http://forum.bridgert.ru>)

21 марта 2011 года произошло обрушение части пролетного строения, размером 30х7,5 м, моста через реку Колокша в центре лыжного спорта «Демино» вблизи города Рыбинска в Ярославской области. Обрушение произошло через 15 минут после того, как по мосту прошла снегоуборочная техника. Данный мост используется во время спортивных стартов, в том числе в рамках этапов Кубка мира по лыжным гонкам. Вероятными причинами происшествия могли стать перегрузка моста подвижной нагрузкой, а также явление усталости конструктивных элементов.

Рисунок 17. Вид моста через реку Колокша в центре лыжного спорта «Демино» вблизи города Рыбинска в Ярославской области (источник: <http://www.ntm-tv.ru/news/>)

б. Аварии мостов, наступившие вследствие резонанса или усталости материала

В 1825 году произошло обрушение вантового моста, построенного в Германии, с пролетом 78 м. Происшествие произошло во время прохождения факельного шествия через 4 месяца после постройки. В воду упало 246 человек и 50 из них погибло [24].

Случай разрушения моста из-за влияния резонанса имел место 12 апреля 1831 года в городе Большой Манчестер в Великобритании, когда 60 человек разрушили Браунтонский висячий мост через реку Ирвелл. Мост разрушился при проходе марширующих солдат.

Рисунок 18. Восстановленный Браунтонский висячий мост в 1883 году (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

Аналогичный случай имел место также в 1868 г., когда в Чатаме рухнул мост на опорах при прохождении отряда британской морской пехоты.

Наиболее трагическая катастрофа произошла 16 апреля в 1850 года, когда Анжерский подвесной мост над рекой Мен в городе Анжер во Франции был полностью разрушен батальоном французской пехоты численностью пятьсот человек. Разрушенный мост увлек людей за собой в ущелье, и погибло 226 человек.

Египетский мост в городе Петербурге был построен в 1825-1826 годах по проекту инженеров Г. Треттера и В.А. Христиановича. Длина его пролета 54,8 м, ширина 11,7 м, стрела цепей равнялась 1/10 пролета. Порталы моста состояли из трех круглых чугунных колонн высотой 6,5 метра. Для моста были построены выступающие в реку устои, облицованные гранитом. Полотно поддерживалось тремя нитками цепей. Однопролетный цепной Египетский мост через р. Фонтанку исправно прослужил городу более 79 лет. В процессе эксплуатации мост неоднократно ремонтировался. Это происходило в 1876, 1887, 1894, 1900 и 1904 годах. В морозный день 20 января 1905 года при проходе по мосту эскадрона кавалерии произошло его разрушение. От ритмического топота копыт задрожали балки моста, лопнула одна верховая цепь, через считанное мгновение лопаются остальные две цепи, и мост рушится. Как заключили эксперты, причинами аварии были наличие раковины в одной из несущих цепей моста, отчего она не выдержала веса и толчков от большого количества передвигавшихся по нему конных всадников, и действие резонанса [25].

Рисунок 19. Общий вид Египетского моста [25]

Рисунок 20. Катастрофа на Египетском мосту [25]

Серебряный мост (Silver Bridge) проходит над рекой Огайо в США. Официально автодорожный мост именовался Ohio River Bridge, был сконструирован в 1928 году и имел 213-метровый центральный пролёт и два 115-метровых боковых пролёта. В конструкции моста использована технология «англ. eyebars» (буквально: «глазастый стержень», особый вид креплений – цепочечные соединения вместо традиционных проволоочных кабелей). Эти крепления были связаны с массивными штырями. 15 декабря 1967 года в 5:00 Серебряный мост унес 46 жизней. Транспортный рождественский поток вызвал перелом в одном из «глазастых стержней», что повлекло перелом крепительного цилиндра. Не в состоянии в одиночку поддерживать вес всего моста, крепление южной стороны так же лопнуло. Хватило всего одной минуты, чтобы мост полностью погрузился в реку.

Сразу после разрушения Серебряного моста Джон Беннетт провел исследования, показавшие, что мосты, сконструированные из углеродистых сталей, склонны к трещинам. На полностью покрытом коррозией мосту было найдено множество трещин. Трагедия произошла от обильной коррозии и усталости материала, двух понятий, которые не были известны в 1928 году.

Рисунок 21. Серебряный мост через Огайо
после окончания строительства в 1928 году (источник:

http://esoreiter.ru/index.php?id=1014/gibel_serebrjanogo_mosta.htm&dat=news&list=10.2014)

Рисунок 22. Серебряный мост после катастрофы 15.12.1967 г. (источник:

http://esoreiter.ru/index.php?id=1014/gibel_serebrjanogo_mosta.htm&dat=news&list=10.2014)

17 августа 1977 года произошло обрушение пролетов пешеходного путепровода через железнодорожные пути на станции Пушкино в Московской области. Металлический пешеходный путепровод был сооружен в 1927 году, но по мере развития станции дважды удлинялся новыми пролетами из металла, привезенного для этой цели с каких-то других станций. В момент обрушения пролетов на путепроводе находилось большое количество людей, которые стали падать на порванные провода высокого напряжения (контактный провод). Жертв было много – говорится о 28 погибших и 165 пострадавших. Часть пешеходов

погибла, пораженная током, часть погибла или была искалечена обрушившимися конструкциями путепровода. Проведенной по ходатайству адвоката Когана М. И. экспертизой [26] было установлено, что железо, из которого были изготовлены обрушившиеся конструкции пешеходного путепровода, выпускались заводами до 1864 года, когда были изменены сортаменты (стандарты) на угловое и тавровое железо. На время катастрофы в нашей стране теория и формула расчета критической точки трещины была изложена профессором Г. Б. Баренблатом только в закрытых статьях и докладах.

В 1975-1977 годах в г. Пушкино существовал вещевой рынок, в то время во всех других близлежащих местах они были закрыты. Толпы москвичей приезжали сюда. Электрички были переполнены. Пешеходный путепровод испытывал перегрузки, сотрясался, вибрировал. В 1977 году, и позднее на публичную информацию об этой катастрофе был наложен прочный запрет, и она отсутствовала практически до начала 2000-х годов [26].

16 июня 1997 года во время церемонии открытия XV Маккабады во время прохождения участников по пешеходному мосту через реку Яркон в городе Рамат-Гане в Израиле, специально построенного к этому празднику, произошло его обрушение. В результате катастрофы погибли четыре спортсмена, еще 69 получили травмы различной степени тяжести и отравление речной водой. Одной из причин трагедии могло стать явление резонанса колебаний при маршировке спортсменов по мосту. Ширина реки Яркон составляет 35...40 м, глубина – 3...4 м. Справка: Маккабада – международные спортивные состязания по образцу Олимпийских игр, проводящиеся раз в четыре года в Израиле Всемирным спортивным обществом «Маккаби».

07 августа 2006 года как минимум восемнадцать человек получили ранения в результате обрушения части каменного пешеходного моста в городе Утрехт (Utrecht) в Нидерландах. Деревянный сход с моста не выдержал веса нескольких тысяч зрителей, собравшихся на фестиваль Muzikale Botenparade. Справка: Muzikale Botenparade – фестиваль, проходящий в историческом центре Утрехта, когда на плавучих платформах на воде проводятся выступления музыкальных коллективов.

Из истории известно [27]: «В 1237 году в Утрехте обрушился мост, в связи с тем, что на нем находились более двухсот человек, одержимых истерической пляской, все эти люди утонули в Рейне».

Рисунок 23. Мост в Утрехте (Нидерланды)
(источники: <http://Lenta.ru>; ИА «Associated Press»)

25 октября 2006 года произошло обрушение пешеходного висячего моста через горный ручей на острове Кава в провинции Центральная Ява в Индонезии. Трагедия произошла на индонезийском курорте Батураден во время экскурсии к горе Слатет. Под тяжестью пешеходов оборвался несущий стальной канат и люди упали с 20-метровой высоты на дно горного ручья. Пять человек погибли, ещё 29 были госпитализированы с ранениями различной степени тяжести.

19 августа 2007 года в результате обрушения пешеходного висячего моста через реку Бахви в западнотурецком районе Рача пострадало около 50 человек, большинство из них получили легкие травмы. От серьезных последствий людей спасла натянутая под мостом страховочная сетка. Мост был построен за 40 лет до происшествия. По одной из версий, причиной обрушения могла стать перегрузка конструкций скопившимися на мосту людьми, которых оказалось около 200 человек. Несущие стальные канаты оборвались, произошло частичное разрушение моста и люди упали вниз с пятиметровой высоты.

Рисунок 24. Обрушение пешеходного моста через реку Бахви в Грузии, 19.08.2007 (источник: <http://www.kavkaz-uzel.ru>; <http://www.day.az>)

15 октября 2007 года произошло обрушение пешеходного висячего моста в Республике Корея на горном курорте Кымгансан. Пешеходный мост длиной 20 метров, был открыт в ноябре 1998 года и был рассчитан на одновременный переход по нему не более пяти человек. Однако во время инцидента на мосту находились более 20-ти южнокорейских туристов. В результате этого, не выдержав нагрузки, произошел разрыв анкерного устройства одного из несущих проволочных канатов и все находящиеся на мосту люди упали с высоты 5-ти метров. Шесть человек получили тяжелые травмы и были госпитализированы. Техническое освидетельствование моста проводилось регулярно и по заключению специалистов, нарушений технической безопасности сооружения выявлено не было (в течение последнего года перед обрушением мост проверялся четыре раза).

Рисунок 25. Пешеходный висячий мост в Республике Корея на горном курорте Кымгансан (источники: Агентство Синьхуа; газета «Жэминь Жибао» от 16.10.2007; <http://russian.people.com.cn>)

7 сентября 2008 г. в Чеченской республике на 656 км федеральной трассы М29 «Кавказ» произошло разрушение одной из трех опор 162-метрового автодорожного моста через реку Аргун, что привело к обрушению одного 52-метрового пролета. Жертв и пострадавших нет. Среди наиболее вероятных причин обрушения называется усталостный износ металлических конструкций пролетного строения и опор моста, вызванный интенсивным передвижением тяжелой военной техники, в том числе, танков и самоходных артиллерийских установок. Мост построен в 1959 году. Он был частично разрушен во время боевых действий в республике (1995-2001 годы) и восстановлен в 2002 году.

Рисунок 26. Обрушение моста через р. Аргун на 656 км федеральной трассы «Кавказ», 07.09.2008 г. (источник: «Вести.Ру»)

13 апреля 2009 года в результате падения подвесного пешеходного моста в горном районе Перу погибли, по меньшей мере, восемь и пострадали до семидесяти человек. Инцидент произошел в провинции Аякучо. На деревянном настиле моста длиной 120 метров, подвешенном с помощью стальных канатов на высоте 70 метров над оврагом, одновременно оказались 80 человек. Мост не выдержал этой нагрузки и обрушился.

Рисунок 27. Конструкция пешеходного моста, аналогичная обрушившейся в Перу (источники: <http://Lenta.ru>; <http://www.mobus.com>)

18 июля 2009 г. в Мексике на границе штатов Веракрус и Табаско произошло обрушение 200-метрового автодорожного моста через реку Тонала вблизи города Агуа-Дульсе. Пролет рухнул, когда по нему двигались сразу несколько автомобилей, в том числе самосвал и большегрузный трейлер. Возможными причинами катастрофы называют: усталость металла пролетного строения, которое было возведено 45 лет назад, и влияние дефектов в несущих конструкциях. Кроме того, могли появиться дополнительные деформации в основаниях из-за сильнейших ливней, которые обрушились на этот район в последние дни. Власти срочно перекрыли для обследования "мост-близнец", по которому шло встречное автомобильное движение через реку.

Рисунок 28. Обрушение автомобильного моста через р. Тонала (Мексика), 18.07.2009 г. (источник: РИА «Новости»)

27 октября 2009 года произошло обрушение моста через р. Кампар в штате Перак в Западной Малайзии. Пострадали 22 школьника младше 13 лет, которые находились в туристическом походе, одна школьница погибла. Мост висячий, 50-метровый, с дощатым настилом. Как рассказал один из выживших школьников, несколько детей стали прыгать на мосту. По информации «Reuters», обрушившийся мост был построен две недели назад на месте другого, который также рухнул по неизвестным причинам.

Рисунок 29. Мост через р. Кампар в Малайзии (аналогичные конструкции) (источники: <http://russian.news.cn>; РИА Новости; Lenta.ru)

26 декабря 2009 года произошло обрушение пролетного строения автодорожного моста в городе Уси провинции Цзянсу на востоке Китая. Причиной аварии явился несанкционированный проезд мусоровоза весом 20 тонн через мост, рассчитанного на проезд автомобилей весом до 10 тонн. Сопутствующей причиной аварии явилось отсутствие в момент происшествия соответствующего запрещающего дорожного знака.

Рисунок 30. Обрушение пролетного строения автодорожного моста в г. Уси провинции Цзянсу на востоке Китая, 26.12.2009 г. (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

20 мая 2010 года произошло обрушение пролетного строения путепровода на 1346 км федеральной трассы М-4 «Дон» Москва – Новороссийск в Тахтамуканском районе Республики Адыгея. Причинами аварии названы явления старения и усталости металла. Путепровод четырехпролётный железобетонный балочный, был построен в 1975 году. Разрушению подверглись 5-7 балки третьего пролета путепровода. Во время обрушения по путепроводу проезжали 20-тонный бетоновоз и пассажирский автобус. В результате происшествия никто не пострадал.

Рисунок 31. Обрушение пролетного строения путепровода на 1346 км федеральной трассы М-4 «Дон» в Тахтамуканском районе Республики Адыгея, 20.05.2010 г. (источники: <http://www.livekuban.ru>; <http://forum.bridgearth.ru>)

с. Аварии мостов, наступившие вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды

Мост Сен-Бенезе, расположенный на реке Роне близ города Авиньон во Франции, был построен в период в 1117 по 1185 годы. Первоначально мост имел 22 арочных пролета и длину 915 м. Первая арка обрушилась в 1603 году, затем еще три в 1605 году. Однако в 1628 году все четыре пролета были восстановлены. Новое обрушение произошло в 1633 году – обрушились две арки, а в 1669 году после сильного наводнения на реке Роне, осталось лишь четыре пролета, сохранившихся до сегодняшнего времени.

Рисунок 32. Мост Сен-Бенезе на р. Роне близ г. Авиньон во Франции (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

Рисунок 33. Схемы моста Сен-Бенезе в книге о французской архитектуре XI-XVI веков архитектора Эжана Эммануэля Эжена (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

В 1786 году пострадал от обрушения мост через р. Уай в Херефорде в Англии. Каменный арочный мост к средневековому собору строился на протяжении нескольких столетий, начиная с XII века. После обрушения в 1786 года был полностью восстановлен только в 1908 году. [Источник: [38] <http://ru.wikipedia.org>]

Рисунок 34. Мост через р. Уай в Херефорде в Англии (источник: <http://ru.wikipedia.org>)

Висячий мост Райхсбрюке через реку Дунай в Вене, построенный в 1934-1937 годах, нёс четыре полосы автомобильной дороги, две трамвайные колеи и по пешеходной дорожке на каждой стороне. За время второй мировой войны Райхсбрюке был единственным венским мостом через Дунай, который не получил значительных повреждений. Между 1948 и 1952 годами он был реконструирован, а 1 августа 1976 года, незадолго до 5 часов ночи мост рухнул, убив одного человека. При обрушении мост уничтожил один грузовик и повредил несколько кораблей.

Мост Александра Невского в г. Санкт-Петербурге [28]. Мост возводился в 1960-1965 гг. Схема моста была принята семипролетной симметричной относительно центрально расположенного разводного пролета. Мост запроектировали железобетонным с предварительно напряжённой арматурой. Разводной 50-метровый пролёт в середине реки – двукрылый с неподвижной осью вращения. Пролёты моста в обе стороны от разводного перекрываются трёхпролётными неразрезными предварительно напряжёнными железобетонными балками переменной высоты. В конструкции моста использованы ванты – тросы высококачественной стали диаметром 70 мм. Отдельные части моста сопряжены и стянуты усилием пропущенных внутри них и натянутых тросов. Сила натяжения тросов контролируется специальными приборами с учётом температуры воздуха. В морозы натяг ослабляют, в жаркие дни его усиливают специальными лебёдками. Для пропуска вант внутри главных железобетонных балок моста предусмотрены специальные сквозные проёмы; в них же пропущены кабели связи, освещения, сигнализации и т. д.

При изготовлении отдельных частей пролётных строений арки членились не по осям быков, а по центру. Таким образом, для сборки были изготовлены элементы, представлявшие собой две полуарки с опорной площадкой в нижнем поясе. Такие V-образные элементы были изготовлены на берегу в монолитном исполнении и на понтонах перевезены и установлены на места. После установки всех частей в полости конструкции были заведены ванты и произведён тарированный натяг.

5 ноября 1965 мост был сдан в эксплуатацию. В период строительства мост назывался Старо-Невским. Однако, новый мост, представленный горожанам как последнее достижение современного мостового строительства, оказался не таким уж идеальным. Гидроизоляцию моста выполнили из стекловаты. Вскоре после окончания строительства она начала

растворяться в битуме, а канаты, проходящие в теле бетона и обмазанные пушечным маслом, стали активно корродировать. В результате этого уже в 1966-1967 годах 56 проржавевших канатов лопнуло, и по абсолютно новому мосту стал ходить только троллейбус. На этом деградационные процессы не остановились. В 1981 году питерские мостовики обратились к городской администрации с предложением срочной реконструкции моста, во избежание катастрофы. Однако чиновники не вняли голосу профессионалов. В результате на следующий год 17-тонный противовес моста рухнул в воду.

Зимой 1978 г. произошло обрушение сталежелезобетонного пролетного строения 63,36+84,3+63,36 автодорожного моста через реку Клязьму у села Пенкино на км 218 автомобильной дороги Москва – Горький [29]. Мост семипролетный, общей длиной 382,56 м, выполненный по схеме 42,4+43,2+43,4+63,36+84,3+63,36+42,5, перекрыт железобетонными и стальными пролетными строениями, опирающимися на бетонные опоры, фундаментом для которых служат забивные железобетонные сваи. Железобетонные пролетные строения длиной 43,2, состоящее из пяти балок, и неразрезное сталежелезобетонное пролетное строение 63,38+84,30+63,38 выполнены по типовым проектам.

Рисунок 35. Расположение опор автодорожного моста через реку Клязьму у села Пенкино [29]

Сталежелезобетонное неразрезное трехпролетное строение запроектировано со сплошными главными балками с предварительным напряжением; высота главных балок во всех пролетах одинаковая – 3620 мм. Главные балки сварные, двутаврового сечения, с толщиной стенки 14 мм. В поперечном сечении пролетного строения предусмотрены две главные балки с расстоянием в осях 5 м. Связи между главными балками: поперечные – полураскосного типа; нижние продольные – крестовые с панелью 4,2 м; роль продольных связей по верхнему поясу выполняла железобетонная плита, связанная с жесткими упорами, приваренными на заводе к верхним поясам главных балок. Конструкция опорных частей принята применительно к проекту унифицированных опорных частей из стального литья (марки 25Л) под опорные реакции 600 т на средних опорах и 200 т на крайних опорах. Железобетонная плита проезжей части сборная толщиной в середине пролета 24 см, над главными балками 20 см. Тротуары запроектированы из железобетонных блоков, уложенных на консоли плиты. Покрытие проезжей части асфальтобетонное. Габарит моста Г-7 запроектирован с двумя тротуарами по 0,75 м. Принятые нормативные нагрузки: временная автомобильная по схеме Н-18, колесная по схеме НК-80, толпа на тротуарах интенсивностью 300 кгс/м².

Материалы, из которых изготовлено стальное пролетное строение: элементы главных балок, опорные рамы из низколегированной стали марки 15ХСНД; нижние продольные и поперечные связи пролетного строения, предусмотренные проектом из стали марки 15ХСНД, были изготовлены из стали марки Ст3 с увеличением сечений элементов и сохранением их общей прочности; заклепки – из стали марки 09Г2.

На момент обрушения мост эксплуатировался, причем эксплуатация производилась в нормальных условиях, без ограничения веса нормативных нагрузок и скорости движения.

Обрушение произошло во время прохождения по мосту поезда с суммарным весом 3,66 кН. Температура воздуха во время прохождения поезда составляла по данным ближайшей метеостанции минус 42 °С. Вполне вероятно, что непосредственно в месте расположения моста, в долине реки, температура была несколько ниже, чем зарегистрированная метеостанцией. В процессе обрушения стальное пролетное строение разломилось примерно в середине 84-метрового пролета у опор № 5 и 6 – в обоих 63-метровых пролетах.

Состояние сварных швов и заклепочных соединений оценивалось визуально. Осмотру подвергались части пролетного строения, не находящиеся под водой. Стыковые соединения листов балок и поясные швы (заводского изготовления) выполнены автоматической сваркой и имеют ровную, мелкочешуйчатую поверхность. Осуществлена механическая обработка поверхности стыковых соединений поясов балок с созданием плавного перехода от шва к основному металлу. Угловые швы, приваривающие вертикальные и горизонтальные ребра жесткости к стенкам балок, в целом имеют мелкочешуйчатую, плоскую либо слегка выпуклую поверхность. Замечены отдельные места, где шов несколько смещен от продольной оси соединения с образованием некоторого наплыва на лист стенки балки и подреза на металле ребра. Основная часть изломов стальных конструкций пролетного строения проходила по основному металлу.

В результате анализа всех материалов установлено, что обрушение неразрезного стального пролетного строения моста произошло в результате хрупкого разрушения стальных конструкций, возникшего вследствие крайне неблагоприятного сочетания следующих факторов: наступление резкого похолодания до необычно низкой для данного района температуры (минус 42 °С и ниже в пойме реки); наличие существенной неоднородности примененной в конструкциях стали по хладоломкости; динамического воздействия временной нагрузки, проходившей по мосту с недозволенной скоростью (30 км/ч вместо 10 км/ч).

28 июня 1983 г. обрушился центральный пролет балочного автодорожного моста через реку Майанус в штате Коннектикут на междуштатной дороге № 95 между штатами Нью-Йорк и Новая Англия в США. В образовавшийся провал упали четыре грузовых автомобиля. Три человека погибли, трое тяжело ранены. Мост был построен в 1958 году и рассчитан на эксплуатацию в течение 50 лет. Интенсивность движения составила 10 тыс. авт./сут. Рухнувший пролет имел косину в плане 53° и состоял из двух главных стальных балок со сплошной стенкой высотой 2700 мм и четырех дополнительных балок, объединенных между собой диафрагмами [30]. Плита проезжей части – железобетонная толщиной 19 см, покрытие – асфальтобетонное толщиной 5 см. Масса пролетного строения 500 т. Крепление пролетного строения выполнено в его углах посредством подвесок и восьми болтов диаметром 178 мм. Наиболее вероятной причиной аварии является срез одного из болтов вследствие коррозии металла и вибрации проезжей части моста. Конструктивное решение узла не позволило своевременно обнаружить очаги коррозии. При обследовании моста в 1982 году был сделан вывод о соответствии моста условиям безопасной эксплуатации. При анализе разрушенного болта обнаружена значительная степень износа, вызванная совместным вращением его с подвеской.

В связи с аварией усилены подвески трех уцелевших пролетных строений моста, также было принято решение об усилении 67 мостов аналогичной конструкции в штате.

Рисунок 36. Обрушение автодорожного моста Майанус в США, 28.06.1983 г. [30]

24 июля 2001 года произошло обрушение одного пролета железнодорожного моста через р. Пышма в Свердловской области. Мост расположен в 120 км от г. Екатеринбурга в районе железнодорожной станции Кунара, был введен в эксплуатацию в 1914 году. Мост металлический балочный разрезной со сквозными фермами с ездой поверху. Мост ни разу не ремонтировался, в 2000 году был заменен один из пролетов. Во время проведения ремонтных работ не однократно (несколько десятков раз) по мосту проследовал 500-тонный грузоподъемный кран. При одном из очередных проходов крана и произошло обрушение пролета. По одной из версий катастрофа произошла из-за ветхости конструкции. В результате погибли четыре человека. В Свердловской области существует несколько мостов подобной конструкции.

*Рисунок 37. Последствия обрушения моста через
р. Пышма, 21.07.2001 г. (источник: <http://www.newsru.com/russia>)*

12 июля 2003 года произошло обрушение большей части железнодорожного виадука через реку Кинзу (Kinzua Viaduck) в парке штата Пенсильвания «Кинзу-Бридж», графство МакКин, США. До разрушения высота моста составляла 92 м, длина – 625 м, ширина – 3 м. Виадук был построен в 1882 году и афиширован как «Восьмое чудо Света», удерживая рекорд самого высокого железнодорожного моста мира в течение двух лет. В 1900 году мост был разобран и сразу же построен вновь, но уже из стали, что позволило его использовать для пропуска более тяжелых составов. В 2002 году началась реконструкция моста, но не была завершена, когда в 2003 году торнадо разрушило большую его часть. Подвергшиеся коррозии якорные болты, крепившие мост к его основанию, ослабли, что явилось одной из причин разрушения.

*Рисунок 38. Kinzua Viaduck до и после
разрушения 12.07.2003 г. (источник: <http://ru.wikipedia.org>)*

14 августа 2003 года прекратилось движение по автодорожному мосту через реку Большой Кинель вблизи города Бугуруслан в Оренбургской области. Мост был введен в эксплуатацию в августе 1957 года. Мост находился в аварийном состоянии с 1999 г, проектная нагрузка на мост рассчитывалась в пределах 30 т. Протяженность моста составляет 110 м. Под собственным весом мост проседал и рушился – со стороны въезда в город разрушился железобетонный ригель третьей опоры; правая сторона моста просела, образовался уклон в 10...12 градусов, на проезжей части образовалась трещина длиной около 50 метров, выявлены повреждения четырех главных балок в двух пролетах. Одной из причин называют несоответствие нагрузки состоянию сооружения.

29 апреля 2004 года произошло обрушение автодорожного моста через реку Усманка в селе Новая Усмань Новоусманского района Воронежской области. Мост разрезной железобетонный балочный, общей длиной 103 метра, ширина моста 12,5 метра. Было установлено, что произошло крушение части центрального пролета моста на площади 22х6 метров. Во время ЧП по мосту ехало маршрутное такси типа «Газель», в котором находились два пассажира и водитель, которые с травмами различной степени тяжести были доставлены в больницу. Незначительные травмы получили также несколько прохожих, оказавшихся в это время на мосту. Всего в результате инцидента пострадали 9 человек, погибших нет. По аналогичному типовому проекту построены 64 моста в Воронежской области.

Рисунок 39. Авария на автодорожном мосту
в Воронежской обл., 29.04.2004 г. (источник: <http://www.mossty.ru>)

10 июня 2004 года рухнул полукилометровый мост через реку Ляохэ в северо-восточной провинции Китая Ляонин, соединяющий города Паньцзинь и Инькоу. Авария произошла в промышленном районе, находящемся в трёхстах милях к северо-востоку от столицы Китая – г. Пекина. Как минимум три находившихся на мосту во время катастрофы автомобиля рухнули в реку вместе с мостом. По словам одного из свидетелей ЧП, сначала обрушилась южная опора моста, вслед за которой упала и лежавшая на ней 30-метровая секция сооружения. Длина всего моста составляет около 500 м. По самым предварительным данным, трагедия могла произойти из-за ветхости сооружения – мост через Ляохэ с двухрядным движением был построен в 1976 году, а также ошибок при строительстве и низкого качества материалов.

В мае 2005 года произошло обрушение железнодорожного моста в южной Малайзии. Обрушению предшествовали прошедшие в регионе проливные дожди. Мост был построен в 1909 году и имел длину 6 метров. Ежедневно как минимум два состава проходили по этому мосту в Сингапур и обратно. В аналогичном состоянии находятся и 89 других железнодорожных мостов, построенных во времена Британского колониального правления.

17 мая 2006 года обрушился автодорожный мост через реку Таохэ в провинции Ганьсу в западном Китае. При обрушении моста пострадали 4 человека. Мост был построен в 1974 году и был частью провинциального шоссе № 306. Длина моста составляла 200 метров, ширина – восемь метров. Капитальный ремонт моста был запланирован на 2008 – по истечении нормативного срока эксплуатации в 34 года.

В сентябре 2006 года произошло внезапное обрушение автодорожного путепровода через 19-й Highway, проходящий через бульвар Согласия, в северном пригороде Монреаля Лавале. Три машины и мотоцикл пролетели примерно 15 метров и упали на асфальт, а на них обрушились конструкции пролетного строения. По меньшей мере, два человека погибли, пятеро ранены. Падение путепровода – не первая подобная авария, случившаяся в Лавале. В 2000 году в этом же городе обвалился один пролет путепровода через 15 Highway. Один человек погиб.

13 сентября 2006 году произошло смещение железобетонной плиты дорожного полотна на автодорожном мосту через приток реки Обь в городе Нефтеюганске. Железобетонная плита просела из-за изношенности сооружения – мост был построен более 20-ти лет назад. В результате происшествия никто не пострадал, однако дорожную полосу пришлось закрыть.

2 декабря 2006 года в Индии в городе Bihar на проходящий поезд рухнул путепровод, построенный 140 лет назад. Это случилось примерно в 1240 километрах от города Нью-Дели на участке дороги, ведущей из Калькутты в Джамалпур. Погибли 33 человека и еще как минимум 18 получили ранения. Причиной обрушения называют ветхость конструкции и постепенное разрушение путепровода от постоянной вибрации от проходящих поездов.

Рисунок 40. Катастрофа на путепроводе в городе Bihar в Индии, 02.12.2006 г. (источник: <http://forum.bridgeart.ru>)

2 марта 2007 года произошло обрушение части железобетонного путепровода на остановочной платформе Тестовская (1-й и 2-й главные пути, пересечение Шмитовского проезда и 3-го транспортного кольца), г. Москва. В течение 2-х месяцев был построен новый композитный путепровод длиной 48 м, шириной 2,6 м.

Рисунок 41. Обрушение части путепровода на платформе Тестовская 02.03.2007 г. (источник: <http://www.apatech.ru>)

Рисунок 42. Новый композитный путепровод на платформе Тестовская 14.06.2007 г. (источник: <http://www.apatech.ru>)

11 апреля 2007 года в аджарском селе Цкониариси на юго-западе Грузии обрушился арочный каменный мост, построенный в XI веке. Мост, названный в честь грузинской царицы Тамары, связывал этот населенный пункт с административным центром Кедского района Аджарии. По информации правительства Аджарской автономной республики, в регионе расположены 25 арочных мостов XI-XII веков. Несколько из них, включая мост Тамары, планировалось реконструировать в 2007 году.

Рисунок 43. Арочные каменные мосты в Аджарии, построенные при царице Тамаре (источник: <http://lenta.ru/news>; <http://www.photosight.ru>)

15 июля 2008 года произошло разрушение деревянных опор пешеходного моста в городе Козятин в Винницкой области на Украине, что вызвало просадку железобетонных плит пролетного строения на 40 см и деформацию металлических перил ограждения. Мост был построен в 1940-х годах и проложен через водоем, бывший когда-то истоком реки Гнилопять. Причинами аварии явились ветхость сооружения – мост был признан аварийным и непригодным к эксплуатации.

Рисунок 44. Пешеходный мост в городе Козятин
в Винницкой области на Украине (источник: <http://forum.bridgearth.ru>)

05 февраля 2009 года произошло разрушение опоры низководного железобетонного автодорожного моста через ручей в селе Лоева Надвирнянского района Ивано-Франковской области. Инцидент произошел на автомобильной дороге Мукачево – Яремче – Нардвирна – Львов. Мост железобетонный балочный, длиной 6 м, шириной 12 м. Разрушение железобетонной опоры моста привело к последующему обрушению железобетонной плиты проезжей части и частичному разрушению тротуара. Жертв и пострадавших нет.

Рисунок 45. Восстановительные работы на месте
разрушения опоры низководного железобетонного моста через ручей
в селе Лоева, 05.02.2009 г. (источник: <http://www.phl.ua>)

17 марта 2009 года произошло частичное обрушение тротуарных конструкций автодорожного моста через р. Везёлку в городе Белгороде по проспекту Б. Хмельницкого. Причиной обрушения могли стать коррозионный износ тротуарных конструкций в результате

воздействия агрессивной среды и использования противогололёдных смесей для посыпки проезжей части моста, а также увеличение интенсивности движения большегрузного транспорта. Мост был построен в 1988 году, в 2004 году – был обследован специализированной организацией, ремонт моста был запланирован на 2009 год. Аварийный участок составил 24 м, пострадали два человека, находившиеся на мосту во время аварии.

Рисунок 46. Обрушение тротуарных конструкций автомобильного моста через реку Везёлку в городе Белгороде по проспекту Б. Хмельницкого, 17.03.2009 г. (источник: <http://forum.brigeart.ru>)

15 июля 2009 г. произошло обрушение 200-метровой железобетонной секции трехкилометрового виадука, находящегося на участке скоростной автомагистрали Тяньцзинь-Шаньси в китайском городе Чжучжоу. Виадук был построен за 5 лет до обрушения. В мае 2009 года это сооружение было закрыто, и оно планировалось к сносу по причине неудовлетворительного технического состояния. Как минимум семеро человек погибли, еще 17 получили ранения. В результате обрушения виадука упали с дорожной полосы 5 грузовиков.

Рисунок 47. Обрушение виадука на участке скоростной автомагистрали Тяньцзинь-Шаньси в Китае, 15 июля 2009 г. (источник: <https://yandex.ru/images/search?text=обрушение%20виадука%20автомагистрады%20Тяньцзинь-аньси&type=image&lr=194&noreask=1&source=wiz>)

17 марта 2011 года произошло обрушение пролетного строения автодорожного моста через реку Ингода на автодороге местного значения Татаурово – Дровяная Улетовского района Забайкальского края. Мост металлический балочный с железобетонной плитой проезжей части, выполненный по разрезной схеме. Главные балки сплошностенчатые двутаврового сечения. 4 февраля 2011 г. мост был закрыт на ремонт. Причиной обрушения могли стать нарушения правил ведения строительных работ. По предварительным данным, пострадали четыре человека.

Рисунок 48. Обрушение пролетного строения автодорожного моста через реку Ингода на автодороге местного значения Татаурово – Дровяная Улетовского района Забайкальского края (источник: ИА «Чита.Ру»)

Заключение

В статье отмечается, 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. Приводятся ссылки на зарубежные публикации, посвященные анализу прогрессирующего разрушения 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. Далее 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 последующей части статьи 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, вызванных другими причинами, будет продолжен в следующей части статьи.

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 №5, <https://t-s.today/PDF/01TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. с. 1-42.
2. Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2020 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махутов, Г.А. Павлова, Н.А. Шишкина. – М., 2011. – 320 с.
3. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: Монография / Под ред. В.И. Теличенко, К.И. Еремина. – М., 2011. – 428 с.
4. 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.
5. Енджиевский Л.В., Терешкова А.В. История аварий и катастроф: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2013. – 440 с.
6. Borjan Alesson. Understanding Bridge Collapse. Taylor & Francis Group, London, UK, 2008. 282 p.
7. Scheer, Joachim, Failed bridges: case studies, causes and consequences, Berlin: Ernst & Sohn, 2010, 321 p.
8. Ерёмин К.И., Матвеюшкин С.А., Арутюнян Г.А. Методика экспериментальных исследований блоков покрытий промышленных зданий при аварийных воздействиях // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 34-46.
9. Allen D.E., Schriever W.R. Progressive collapse. Abnormal loads and building codes // Proc. Am. Soc. Civ. Eng. National Meeting on Struct. Eng., Cleveland, Ohio. Apr. 1972. Pp. 21-47.
10. Taylor D.A. Progressive collapse // Canadian Journal of Civil Engineering. Dec. 1975. Vol. 2. No. 4. Pp. 517-529.
11. Wardhana K., Hadipriono F.C. Study of recent building failures in the United States // Journal of Performance of Constructed. Aug. 2003. Vol. 17. No. 3. Pp. 151-158.
12. Nwafor A.U. Building failures/collapses and their reputational effect on building industry in Nigeria // International Journal of Science and Research. June. 2015. Vol. 4. Issue 6. Pp. 847-853.
13. Махутов Н.А., Лобов О.И., Еремин К.И. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса. М.: МГОФ «Знание», 2012. 798 с.

14. K.H. Lebeau and S.J. Wadia-Fascetti. Fault tree analysis of Schoharie creek bridge collapse // Journal of Performance of Constructed Facilities, 2007. vol.21, no.4, pp. 320-326.
15. A. Astaneh-Asl. Progressive collapse of steel Truss bridges, the case of I-35W collapse // Proceedings of the 7th International Conference on Steel Bridges, 2008. pp. 1-10.
16. H. Wibowo, S.S. Reshotkina, and D.T. Lau. Modeling progressive collapse of RC bridges during earthquakes // Proceedings of the CSCE Annual General Conference, GC-176-1-GC-176-10, May 2009.
17. Z. Xu, X. Lu, H. Guan, X. Lu, and A. Ren, Progressive-collapse simulation and critical region identification of a stone arch bridge // Journal of Performance of Constructed Facilities, 2013.vol.27, no.1, pp. 43-52.
18. Weibing Peng, Ruodan Pan, and Fei Dai. Theoretic Framework and Finite Element Implementation on Progressive Collapse Simulation of Masonry Arch Bridge // Mathematical Problems in Engineering Volume 2015, Article ID 707269, 12 pages.
19. Ashish B. Fulzele, M.R. Wakchaure. A Study on Progressive Collapse Response of Cable Stayed Bridges using Elastomeric Bearing // International Journal for Scientific Research & Development. 2017. Vol. 5, Issue 05, p. 1997-2000.
20. Травуш В.И., Волков Ю.С. Строительные нормы: обязательные или добровольные? Проект перечня норм, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается выполнение требований технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 7-14.
21. PR Lewis, Disaster on the Dee: Robert Stephenson's Nemesis of 1847, Tempus Publishing (2007) ISBN 978-0-7524-4266-2.
22. Лащенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1969. – 184 с.
23. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания / И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров и др. – Саратов: Изд-во «Кубик», 2014. – 504 с.: ил. 155., табл. 23., библи. 175 наим.
24. Корнеев М.М. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию. – Киев, 2003. – 547 с.
25. Плюхин Е.В., Пунин А.Л. Мосты повисли над водами. – Л.: «Аврора», 1975.
26. Коган М.И. Исповедь строптивного адвоката. – М.: Изографус, 2002. – С. 246-253.
27. Якубик Анджей. История / перевод с польского. – М., 1982.
28. Антонов Б.А. Мосты Санкт-Петербурга. – СПб.: «Глагол», 2002.
29. Платонов А.С. Уроки аварий металлических конструкций мостов // Транспортное строительство. 2009. №6. С. 6-9.
30. Temporary Span Erected at Connecticut Bridge Collapse Site // Public Works. – 1983. – №114.

Ovchinnikov Igor Georgievich

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

Ovchinnikov Ilya Igorevich

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

Maystrenko Igor Yurievich

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

Kokodeev Artemii Vitalyevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
E-mail: artemkokodeev@gmail.com

Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 2

Abstract. In the article it is noted that a significant number of failures and collapses has progressive nature, but in Russia problems of progressive collapse are still investigated only in relation to buildings and constructions of industrial and civil purposes, but progressive bridge collapses are mostly not considered. References to foreign publications about analysis of bridge constructions progressive collapse are given.

It is indicated that CP 35.13330.2011 contains the requirement to prevent progressive bridge collapses, but there is no explanation about how to perform this requirement in relation to bridges. Then five theses of progressive collapse by Perelmutter A.V. are given: 1) possibility of local failures of structural system should be considered; full protection of them is impossible; 2) the most dangerous possible consequence is chain development of collapses (The Domino Effect); 3) analysis of origin of emergency situation extends designer's capabilities; 4) many of their original processes are associated with dynamic effects; 5) if chain development process is inevitable, the primary goal is localization and management of consequences.

In the subsequent part of the article there are examples of bridge construction collapses caused by overload of bearing structures, by occurrence of resonance and material fatigue, as a result of material degradation and adverse impact of exploitation environment.

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.Y., 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] 5, pp. 1-42. Available at: <https://t-s.today/PDF/01TS417.pdf> (in Russian).
2. 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.
3. (2011). Bezopasnost' ehkspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij. [*Safety of maintained buildings and constructions.* Ed. by V.I. Telichenko, K.I. Eremina] Moscow, p. 428.
4. Ponomarev V.P., Travush V.I., Bondarenko V.M., Eremin K.I. (2012). On the need for a systematic approach to scientific research in the field of integrated security and prevention of accidents in buildings and structures. *Electronic Journal "Prevention of accidents of buildings and structures"*, pp. 1-9. (in Russian).
5. Endzhievskiy L.V., Tereshkova A.V. (2013). Istoriya avarij i katastrof. [*History of accidents and disasters.*] Krasnoyarsk: Siberian Federal University, p. 440.
6. Borjan Alesson. (2008). *Understanding Bridge Collapse*. London: Taylor & Francis Group, p. 282.
7. Scheer, Joachim. (2010). *Failed bridges: case studies, causes and consequences*. Berlin: Ernst & Sohn, p. 321.
8. Eremin K.I., Matveyushkin S.A., Harutyunyan G.H. (2015). Methodology of experimental investigations of block coverings of industrial buildings under emergency influences. *Vestnik MGSU*, 12, pp. 34-46. (in Russian).
9. Allen D.E., Schriever W.R. (1972). Progressive collapse. Abnormal loads and building codes. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng. National Meeting on Struct. Eng.*, pp. 21-47.
10. Taylor D.A. (1975). Progressive collapse. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 4(2), pp. 517-529.
11. Wardhana K., Hadipriono F.C. (2003). Study of recent building failures in the United States. *Journal of Performance of Constructed*, 3(17), pp. 151-158.
12. Nwafor A.U. (2015). Building failures/collapses and their reputational effect on building industry in Nigeria. *International Journal of Science and Research*, 6(4), pp. 847-853.
13. Makhutov N.A., Lobov O.I., Eremin K.I. (2012). Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' stroitel'nogo kompleksa. [Russia's Security. Safety of construction industry.] Moscow: MGF "Knowledge", p. 798.
14. Lebeau K.H., Wadia-Fascetti S.J. (2007). Fault tree analysis of Schoharie creek bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 4(21), pp. 320-326.
15. Astaneh-Asl A. (2008). Progressive collapse of steel truss bridges, the case of I-35W collapse. *Proceedings of the 7th International Conference on Steel Bridges*, pp. 1-10.
16. Wibowo H., Reshotkina S.S., Lau D.T. (2009). Modeling progressive collapse of RC bridges during earthquakes. *Proceedings of the CSCE Annual General Conference*, GC-176-1-GC-176-10.

17. Xu Z., Lu X., Guan H., Lu X., Ren A. (2013). Progressive-collapse simulation and critical region identification of a stone arch bridge. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 1(27), pp. 43-52.
18. Weibing P., Pan R., Dai F. (2015). Theoretic Framework and Finite Element Implementation on Progressive Collapse Simulation of Masonry Arch Bridge. *Mathematical Problems in Engineering*, p. 12.
19. Ashish B.F., Wakchaure M.R. (2017). A Study on Progressive Collapse Response of Cable Stayed Bridges using Elastomeric Bearing. *International Journal for Scientific Research & Development*. 5(5), pp. 1997-2000.
20. Travush V.I., Volkov Y.S. (2014). Building Regularities: Compulsive or Optional? The Project of the List of Regularities, Application of Which on Compulsory Basis Ensures Fulfillment of the Requirements of Technical Regulations «On the Security of Buildings and Structures». *Vestnik MGSU*, 3, pp. 7-14. (in Russian).
21. Lewis P.R. (2007). Disaster on the Dee: Robert Stephenson's Nemesis of 1847. *Tempus Publishing*. ISBN 978-0-7524-4266-2.
22. Lashchenko M.N. (1969). Avarii metallicheskih konstrukcij zdanij i sooruzhenij. [*Failures of steel structures of buildings and constructions.*] Leningrad: Stroiizdat, p. 184.
23. Ovchinnikov I.G., Likverman A.I., Razorov O.N. and etc. (2014). Zashchita ot korrozii metallicheskih i zhelezobetonnykh mostovykh konstruksii metodom okrashivaniya. [*Protection against corrosion of metal and reinforced concrete bridge structures by the staining method.*] Saratov: Publishing house "Kubik", p. 504.
24. Korneyev M.M. (2003). Stal'nye mosty. Teoreticheskoe i prakticheskoe posobie po proektirovaniyu. [*Steel bridges. Theoretical and practical design guide.*] Kiev, p. 547.
25. Pliukhin E.V., Punin A.L. (1975). Mosty povisli nad vodami. [*Bridges hung over the waters.*] Leningrad: Avropa.
26. Kogan M.I. (2002). Ispoved' stroptivogo advokata. [*The confession of a crooked lawyer.*] Moscow: Zografos, pp. 246-253.
27. Jakubik A. (1982). Istoriya. [*History*. Translated from Polish.] Moscow.
28. Antonov B.A. (2002). Mosty Sankt-Peterburga. [*Saint Petersburg bridges.*] Saint Petersburg: Glagol.
29. Platonov A.S. (2009). Lessons from the failures of bridge steel structures. *Transport construction*, 6, pp. 6-9. (in Russian).
30. (1983). Temporary Span Erected at Connecticut Bridge Collapse Site. *Public Works*, 114.