И. И. ОВЧИННИКОВ, Ш. Н. ВАЛИЕВ,
И. Г. ОВЧИННИКОВ, И. С. ШАТИПОВ

АВАРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

АВАРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Учебное пособие для магистрантов направления
08.04.01 «Строительство».
Прикладная программа «Искусственные сооружения
на транспорте, способы воздействия и эксплуатации»

Чебоксары
Издательский дом «Среда»
2020

УДК 624.21(075.8)
ББК 39.112я73
А18

Авторы:
И. И. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. Г. Овчинников, И. С. Шатилов

Рецензенты
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели»
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»
А. С. Пискунов;
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели»
ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»
А. С. Демидов

А18 **Аварии транспортных сооружений и их предупреждение:** учебное пособие для магистрантов направлению 08.04.01 «Строительство». Прикладная программа «Искусственные сооружения на транспорте, способы возведения и эксплуатации» / И. И. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. Г. Овчинников, И. С. Шатилов. – Чебоксары: ИД «Среда», 2020. – 216 с.

ISBN 978-5-907313-42-2

Рассмотрены основные причины наступления аварийных ситуаций и катастроф на транспортных сооружениях с примерами. Отмечается, что во многих случаях сочетается негативное действие нескольких факторов. Часть аварий и обрушений носит прогрессирующий характер, но в России проблемы прогрессирующего разрушения мостовых сооружений практически не рассматриваются. Анализируются последствия, к которым приводят аварии транспортных сооружений. Отмечается, что снижение аварийности транспортных сооружений может быть достигнуто как на основе изучения опыта происшедших аварий, включая и рассмотренных в учебном пособии, так и повышения качества нормативной документации, проектных и строительно-монтажных работ, содержания мостовых сооружений с учетом накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации, а также повышением качества подготовки студентов в высших образовательных учреждениях.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство», в частности для магистрантов, обучающихся по магистерской программе «Искусственные сооружения на транспорте, способы возведения и эксплуатации».

ISBN 978-5-907313-42-2
DOI 10.31483/a-186

© Овчинников И.И., Валиев Ш. Н., Овчинников И. Г., Шатилов И. С., 2020
© ИД «Среда», оформление, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 6

Глава 1. Состояние проблемы изучения аварийности транспортных сооружений 10

1.1. О проблеме аварийности мостовых сооружений..... 10

1.2. О проблеме прогрессирующего разрушения конструкции.. 13

1.3. О проблеме живучести конструкций 17

Глава 2. Аварии мостовых сооружений от ветра, потери устойчивости, ошибок при строительстве..... 21

2.1. Аварии, вызванные недоучетом ветровой нагрузки и аэродинамической неустойчивостью..... 21

2.2. Аварии, вызванные потерей устойчивости элементов..... 27

2.3. Аварии из-за ошибок в технологии ведения строительно-монтажных и ремонтных работ 31

Глава 3. Аварии мостовых сооружений от перегрузки, резонанса, воздействия внешней среды 53

3.1. Аварии, вызванные перегрузкой несущих конструкций 53

3.2. Аварии мостов, наступившие вследствие резонанса или усталости материала..... 64

3.3. Аварии мостов, наступившие вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды 73

Глава 4. Аварии мостовых сооружений от нарушения габарита, отсутствия надзора, появления дополнительных усилий 86

4.1. Аварии вследствие недостаточной надежности и расстройства соединений 86

4.2. Аварии по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки. 91

4.3. Аварии по причине отсутствия технического надзора.....99

4.4. Аварии вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений.....102

4.5. Аварии и разрушения автодорожных мостов во время паводка.....125

Глава 5. Аварии от навала судов и действия экстремальных факторов.....132

5.1. Аварии по причине навала судов на опоры мостов.....132

5.2. Аварии по причине воздействий на конструкции моста экстремальных (форс-мажорных) нагрузок (столкновение с авиационной техникой, скоростным поездом, пожар, торнадо, диверсия, повреждения в результате аварий проложенных по ним коммуникаций и т.п.) 142

5.3. Аварии, вызванные ошибками в расчетах, использованием некачественного материала.....148

Глава 6. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия 150

6.1. Колебания Волгоградского моста 150

6.2. Общие сведения о мосте.....153

6.3. Возможные причины непроектного поведения моста.....158

6.4. Влияние современных тенденций развития мостостроения 166

6.5. Случаи аэродинамической неустойчивости мостов 168

6.5.1. Аэродинамическая неустойчивость виадука Tozaki.....168

6.5.2. Аэроупругие колебания моста Рио-Нитерой.....173

6.6. Мероприятия по повышению аэродинамической устойчивости мостов 177

6.6.1. Исследование аэродинамической устойчивости моста через Волгу в Кинешме 177

6.6.2. Способы уменьшения аэродинамических колебаний Волгоградского моста 180

6.6.3. Гидродинамический гаситель колебаний неразрезных пролетных строений мостов 182

Глава 7. Авария надземного пешеходного перехода и ее анализ 184

7.1. Конструкция пешеходного перехода 184

7.2. Авария пешеходного перехода 185

7.3. Обследование мостового сооружения 186

7.4. Расчетный анализ 191

7.4.1. Сбор постоянных и временных нагрузок на мостовое сооружение 191

7.4.2. Предпосылки расчета 193

7.4.3. Результаты расчета 195

7.4.4. Анализ напряженно-деформированного состояния остекления из поликарбоната 198

Заключение 201

Список литературы 204

ВВЕДЕНИЕ

Аварии и разрушения строительных конструкций, зданий и сооружений, в том числе и транспортных сооружений (и, в частности мостов), в последнее время стали обычным явлением, о чем говорят, например, результаты анализа, проведенные авторами работ [1–6]. На основе этого анализа можно сформулировать следующие выводы применительно к транспортным сооружениям:

– аварии и разрушения транспортных сооружений происходили в прошлое время, имеют место в настоящее время и скорее всего, будут происходить в будущем;

– аварии и разрушения транспортных сооружений происходят во всех уголках земного шара, во всех странах, независимо от их экономического состояния; при этом наличие большого количества транспортных сооружений может являться причиной большего количества их аварий и разрушений;

– ухудшение экономического состояния, кризисы обычно приводят к возрастанию количества аварий и разрушений транспортных сооружений;

– реальных причин для снижения количества аварий и разрушений транспортных сооружений в ближайшее время не предвидится, причем разрушению будут подвергаться в основном транспортные сооружения, длительное время находящиеся в эксплуатации;

– систематизация информации об авариях и разрушениях транспортных сооружений, изучение причин их появления, доведение этой информации до специалистов, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией транспортных сооружений, позволит уменьшить количество аварий, снизить тяжесть их последствий;

– изучение причин наступления аварийных ситуаций и разрушения транспортных сооружений и способов их предотвращения при подготовке инженерных и научных кадров для отрасли транспортного строительства также позволит снизить интенсивность наступления таких событий.

Опираясь на материалы статьи [3] сформулируем следующие соображения по повышению безопасности транспортных сооружений:

– безопасность транспортных сооружений является весьма важным элементом национальной безопасности страны, таким же как энергетическая, промышленная и другие;

– вопросы безопасности транспортных сооружений должны быть не местом конкурентной борьбы, а основой для объединения усилий деятелей различного уровня (инженеров, ученых, руководителей, инвесторов, заказчиков, подрядчиков);

– необходимо не откладывая в долгий ящик начать систематизацию усилий по обеспечению комплексной безопасности транспортных сооружений, для чего приступить к созданию научных школ и

коллективов по обеспечению безопасности транспортных сооружений и предотвращению наступления аварийных ситуаций на них.

Опять-таки, следуя [3], сформулируем предполагаемые направления научных исследований по обеспечению безопасности транспортных сооружений:

– сбор и систематизация информации об авариях и разрушениях транспортных сооружений в различных странах, в том числе и в России, установление и анализ причин и последствий разрушения транспортных сооружений с оценкой величины нанесенного ущерба; построение математических моделей возможных сценариев наступления аварийных ситуаций на транспортных сооружениях;

– изучение причин появления дефектов и повреждений транспортных сооружений, их систематизация с точки зрения влияния на возникновение аварий; исследование кинетики развития повреждений и деструкции материалов транспортных сооружений во времени под влиянием различных причин;

– исследование действительной работы несущих элементов транспортных сооружений в зависимости от условий их эксплуатации и режимов работы с учетом совместной работы с фундаментами, основаниями и подходными насыпями;

– исследование изменения напряженно-деформированного состояния в опасных зонах и узлах сооружения; при этом следует учитывать возможное изменение напряженного состояния вследствие наличия дефектов и развития повреждений, влияния агрессивных эксплуатационных сред, деструкции материала, перераспределения усилий в статически неопределимых системах;

– разработка методик и технологий диагностики и мониторинга транспортных сооружений средствами неразрушающего контроля, разработка методик анализа результатов диагностики прочности, ресурса, оценки риска разрушения транспортных сооружений; а также результатов мониторинга;

– разработка методик оценки безопасности транспортных сооружений, обеспечения защищенности транспортных сооружений при изменении условий эксплуатации, режимов нагружения, достигнутого уровня поврежденности;

– построение расчетных моделей деформирования и разрушения конструкций транспортных сооружений с учетом воздействия агрессивных эксплуатационных сред, меняющихся режимов нагружения с целью применения их для компьютерного анализа поведения транспортных сооружений во времени в реальных условиях эксплуатации до наступления предельного состояния и разрушения;

– разработка способов усиления и модернизации конструкций с целью предотвращения разрушения, разработка компьютерных моделей деформирования и накопления повреждений в конструкциях с усилениями с целью сравнительного анализа различных способов усиления;

– разработка инновационных конструкций транспортных сооружений с использованием новых материалов, с целью обеспечения большей сопротивляемости разрушению или меньшей тяжести последствий при разрушении;

– разработка расчетных моделей возможных вариантов прогрессирующего разрушения транспортных сооружений с целью исследования их непроектного поведения в различных ситуациях;

– применение информационных технологий: разработка банков данных по механическим характеристикам материалов, моделям воздействия агрессивных эксплуатационных сред, моделям нагружения, моделям деформирования материалов и конструкций, моделям наступления предельных состояний, сценариям разрушения, методам усиления, моделям поведения усиленных конструкций транспортных сооружений и так далее;

– разработка экспертных систем для оценки эксплуатационного состояния мостовых сооружений, прогнозирования их поведения, оценки надежности, безопасности, моделирования возможных сценариев разрушения и так далее.

И хотя, как уже говорилось, аварии и разрушения транспортных сооружений (и, в частности мостов), в последнее время стали обычным явлением, но проблеме изучения аварийности этих сооружений внимания уделяется недостаточно. Поэтому в настоящем учебном пособии, посвященном этой проблеме, мы постараемся проанализировать современное состояние проблемы и, насколько это удастся, наметить пути ее решения.

Проблема анализа дефектов, повреждения и разрушения строительных конструкций рассматривалась в ряде учебных пособий и монографий.

Для начала отметим комплект из 6 учебных пособий под редакцией В.А. Котляревского [7–12]. В этих пособиях систематически изложены данные об аварийных воздействиях природного и техногенного характера, а также об инженерных мероприятиях по снижению ущерба от подобных воздействий, организации аварийно-восстановительных работ в экстремальных условиях. Рассмотрен опыт инженерного реагирования на чрезвычайные ситуации на основе данных о недавних катастрофах. Изложены также вопросы предотвращения или снижения ущерба от рассматриваемых воздействий расчетным путем на стадии проектирования. Обобщен оригинальный и во многом уникальный материал.

В учебном пособии В.В. Леденева [13] рассмотрены общие вопросы эволюции надежности строительства, оценки риска в строительстве, анализа аварий. Затем проанализированы причины отказов конструкций и аварий в строительстве. Определенное внимание уделено вопросам повышения устойчивости зданий и сооружений таким катастрофам и катаклизмам, как водные катаклизмы, землетрясения,

пожары, воздушные катаклизмы, терроризм. Кратко рассмотрена проблема старения, коррозионного и биоповреждения материалов. Транспортные сооружения практически не рассмотрены.

В монографии В.В. Леденева и В.И. Скрылева [14] рассмотрены многочисленные примеры аварий, разрушений и повреждений, проанализированы их причины и последствия. Даны рекомендации по предупреждению аварий и аварийных ситуаций для зданий и сооружений разных конструктивных схем и инженерно-геологических условий, по обеспечению требуемой надежности и долговечности. Рассмотрены ошибки, допускаемые на стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Изложены вопросы мониторинга и научного сопровождения. Авариям мостовых сооружений посвящено всего 10 страниц текста.

В монографии [15] «Проблемы противодействия конструкций прогрессирующему обрушению зданий и сооружений» приведен обзор публикаций и нормативных документов по вопросам противодействия авариям с прогрессирующим обрушением каркасов высотных зданий и сооружений. Обоснована проблема и сформулированы задачи исследования живучести, надежности, устойчивости, безопасности, оценки рисков, состояния конструкций каркасов зданий и сооружений. Изложены особенности методов расчета, конструирования каркасов высотных зданий и сооружений с учетом риска прогрессирующего обрушения. Рассмотрены действующие рекомендации и нормы с учетом противодействия прогрессирующему обрушению зданий и сооружений.

Мы не будем здесь приводить другие пособия и монографии по рассматриваемой проблеме, так как ссылки на них можно найти в приведенных выше работах. Отметим только, что по проблемам аварийности и разрушений транспортных сооружений и, в частности, мостов посвящено определенное количество статей, однако монографии и учебные пособия практически отсутствуют.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. О проблеме аварийности мостовых сооружений

Вообще-то проблеме анализа аварийности транспортных сооружений и, в частности, мостов, посвящено не так уж много публикаций в русскоязычной литературе. Рассмотрим некоторые из них.

Как написал в предисловии к [16] автор Ф.Д. Дмитриев «предлагаемая книга представляет собой первую попытку изучения крушений инженерных сооружений и анализа причин этих крушений». Автор справедливо отметил, что крушение сооружения представляет уникальную возможность практически выявить пределы прочности и устойчивости сооружения. Все причины крушений автор делит на три категории: действие непреодолимых стихийных сил природы (землетрясения, ураганы, наводнения); несовершенство инженерно-технических приемов (неизвестность и потому не учет игры всех сил в сооружении, не изученность явлений, наблюдающихся в процессе строительства и эксплуатации); социально-экономические условия, когда на судьбу сооружения влияние оказывает погоня за выгодой. Обзору и анализу крушения мостов посвящены 87 страниц книги, на которых рассмотрено крушение 22 мостов, причем только 1 в СССР. Также рассмотрению аварий мостовых сооружений за рубежом посвящен обзор В.В. Пассека [17].

Хотя тоннели не относятся к мостовым сооружениям, но нельзя не упомянуть в определенной мере уникальную книгу [18], посвященную анализу аварийных ситуаций, имевших место при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. В ней рассмотрена классификация аварий по основным признакам, установлены причины, оценена эффективность мероприятий по ликвидации последствий аварий, предложены рекомендации по прогнозированию и предупреждению аварий при строительстве и эксплуатации тоннелей.

Авторы уникального обзора [19] рассмотрели малоизученную в нашей стране проблему защиты мостов от навала судов, которое является редким, но особо опасным видом разрушительного воздействия. Отмечено 4 направления исследований с целью решения данной проблемы: создание банка данных по авариям мостов от навала судов; исследование навигационных аспектов проблемы; оценка вероятности навала судов на мостовые сооружения с назначением уровня приемлемого риска; разработка мероприятий по предотвращению навала судов на мосты, включая создание защитных сооружений. Рассмотрен опыт устройства таких защитных сооружений на мостовых переходах через пролив Большой Бельт (Дания) и комплекса Honshu-Shikoku (Япония).

В статье [20] и книге [21] рассмотрены аварии пешеходных мостов. Указывается, что за 180 лет в мире случилось большое количество аварий мостовых сооружений, вызванных действием пешеходной нагрузки, и эти аварии мостов унесли больше жизней, чем аварии на других видах сооружений. Причем эти аварии мостов под действием пешеходной нагрузки практически не анализировались, хотя количество погибших и покалеченных в этих авариях оказалось больше, чем в результате обрушения других сооружений. Отмечается, что информация об авариях мостовых сооружений, к сожалению, весьма ограничена для оценки степени фактической перегрузки и выработки рекомендаций по назначению проектной нагрузки от пешеходов. Но все равно проектировщики должны учитывать опасность перегрузки пролетных строений и опор мостов максимальным количеством людей, могущих разместиться на конструкции моста, а также и возможный динамический характер этой нагрузки.

В статье А.С. Платонова [22] отмечаются три группы причин аварий мостов: вследствие катастрофических природных воздействий (около 60%); ошибки проектирования и дефекты строительства (примерно 30%); неудовлетворительная эксплуатация и перегрузка (до 10%). Указывается, что при разработке нового нормативного документа была принята правильная концепция обеспечения безопасности мостовых сооружений, согласно которой их потребительские свойства были объединены в две группы: функциональные свойства (грузоподъемность, пропускная способность, долговечность, безопасность движения, безотказность при чрезвычайных ситуациях) и технологические и социально-экологические свойства (технологичность, экономичность, архитектурная выразительность…).

Мы не будем далее подробно рассматривать и анализировать русскоязычные публикации по проблемам аварийности мостов, а просто сошлемся на некоторые из них [23–32].

Рассмотрим теперь некоторые иностранные публикации по проблемам аварийности мостовых сооружений.

В предисловии к книге [5] автор пишет, что еще в 1990 годах во время обучения в Технологическом университете Чалмерса в Гетеборге (Швеция), им была подготовлена диссертация об усталостной долговечности железнодорожных мостов. Его научный руководитель профессор Бо Эдлунд уже тогда приводил в своих лекциях примеры разрушений мостов. Поэтому, став преподавателем в 1994 году, Бьёрн Алессон продолжил работу своего руководителя и принимал участие в полевых исследованиях старых железнодорожных мостов на заклепках, результаты которых и использовались в лекциях. Кроме этих данных были подобраны и другие и в результате получилась книга, в которой содержится анализ 20 различных случаев разрушений мостов. Основная цель книги – научить читателя на примере анализа уже совершенных ошибок пониманию различных явлений, которые в момент разрушения не были

полностью поняты. Также рассмотрены предложения по улучшению проектов мостов с целью недопущения аварий.

Во введении к книге профессора Йоахима Шеера «Разрушения мостов: характерные примеры, причины и последствия» [6] отмечается, что первое издание этой книги под названием «Разрушение конструкций», том 1, «Мосты», было опубликовано еще 10 лет назад в конце 2000 года. И во втором издании рассматриваются случаи разрушения мостов, которые произошли в течение последних 10 лет, и были вызваны либо недостаточным контролем состояния и эксплуатацией старых мостов, либо внешними воздействиями, либо неподходящими методами строительства, а также недостатками конструкции. В книге представлен чрезвычайно ценный обзор серьезных аварий мостовых сооружений и потому каждому студенту, и работающему инженеру мостовику рекомендуется тщательно изучить хорошо отобранные примеры, поскольку они демонстрируют огромную ответственность, которая связана с работой по строительству моста. Фотографии, приведенные в книге, наглядно иллюстрируют разницу между лабораторными испытаниями и реальным разрушением моста.

Мост никогда не может быть спроектирован и построен одним инженером, нужна компетентная команда, готовая к сотрудничеству, так как конфликт или непонимание между вовлеченными специалистами могут иметь решающее значение и потому должны быть разрешены до завершения проекта и начала строительства. Проект моста должен учитывать возможные недостатки в проектировании и строительстве, увеличение временной нагрузки, прочность материалов и ее изменение вследствие коррозии. Нормы регламентируют процесс проектирования для «нормальных» случаев, но при проектировании новой конструкции требования к ней должны быть пересмотрены и уточнены для обеспечения большей безопасности.

В статье [33] отмечается, что транспортные сооружения являются весьма ответственными элементами транспортной сети, поэтому так важно обеспечить их безопасность. Надёжность мостов зависит от прочности и долговечности их компонентов, а так как мостовые сооружения не могут бесконечно долго сопротивляться воздействию природных факторов, включая деградацию материалов во времени, то компоненты мостов имеют ограниченный срок службы. Для увеличения срока службы мостов и предотвращения наступления их преждевременного отказа нужно обеспечивать правильную их эксплуатацию. Предполагаемый срок службы пролетных строений может составлять около 70, а для опор около 100 лет. Но некоторые мосты разрушаются, не отслужив и 20 лет из-за плохой организации эксплуатации. В статье рассматриваются примеры разрушения автодорожных мостов под действием наводнений, проанализированы причины разрушения и рассмотрены методы их восстановления.

В работе [34] также отмечается необходимость проектирования мостов с целью обеспечения необходимого уровня безопасности их пользователей. Повреждения мостовых сооружений приводят к нарушению торговых связей и требуют больших затрат на выполнение ремонтных работ и, что является самым важным, могут привести к человеческим жертвам. Анализ причин появления повреждений в существующих мостах и причин их разрушения может помочь в проведении исследований конструктивных и технологических решений в мостах с целью избежать наступления аварийных ситуаций. В статье анализируются примеры наступления аварийных ситуаций на мостах, которые привели либо к разрушению, либо к закрытию мостов, либо к другим проблемам, связанным с эксплуатацией мостов. Для анализа использована методология дерева отказов, когда уроки прошлых аварий мостов используются для оценки потенциальных событий, могущих привести к нарушению нормальной работы мостового сооружения. Эта методология может оказаться интересной и важной для студентов и инженеров, работающих в сфере мостостроения.

1.2. О проблеме прогрессирующего разрушения конструкции

Заметим, что в последнее время весьма большое внимание начинает уделяться проблемам прогрессирующего разрушения конструкций. Появилось довольно много работ на эту тему [35–38 и другие], но поиск в Интернете показал, что в основном публикации посвящены прогрессирующему разрушению зданий и других сооружений, но не мостов.

За рубежом же проблеме прогрессирующего разрушения мостовых сооружений уделяется определенное внимание. В связи с этим отметим работы [39–41].

В публикации [42] 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 [1] и за рубежом [43–46].

Анализ, проведенный в монографии [47] 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 выше, 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 [48–53].

В СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» содержалось 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, имеющих отношение к прогрессирующему разрушению:

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 из 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 [54].

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.

1.3. О проблеме живучести конструкций

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.

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 (дорожно-транспортные происшествия, 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 [55–64].

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

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

Как уже отмечалось, аварийные ситуации на различных стадиях жизненного цикла мостовых сооружений происходили в прошлом, происходят в настоящем и будут происходить в будущем. Однако исследование этих аварий в большинстве случаев не выходило за рамки служебных материалов и практически не сказывалось на повышении качества проектирования, качестве изготовления конструкций мостовых сооружений, качестве их монтажа и тем более качестве эксплуатации. И хотя в последнее время довольно много говорится о необходимости научного сопровождения на всех этапах жизненного цикла мостовых сооружений, однако заметных сдвигов в этом направлении не происходит.

Средств на научные исследования выделяется недостаточно, да и те распределяются на основе некорректных законов о торгах. Причем никого не коробит такая ситуация, когда контракт на выполнение какой-либо научно-исследовательской работы по результатам торгов получает фирма, сотрудники которой никому не известны в научном

мире, тем более, что ученые обычно довольно хорошо знакомы с тем или иным кругом специалистов, занимающихся решением определенных научных проблем. Хорошо еще, что контракты в военной сфере оказались выведенными из-под действия этих законов.

В работе [65] отмечается, что современные технологические достижения позволили человеку проектировать и строить более сложные и грандиозные, чем раньше, мостовые сооружения, которые, по иронии судьбы, кажутся еще более уязвимыми, чем старые мосты; некоторые из которых по-прежнему эксплуатируются сегодня. В настоящее время мосты проектируются и строятся так, чтобы выдерживать воздействия, считающиеся нормальными в течение предполагаемого срока службы сооружений.

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

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

При этом искались ответы на такие вопросы: как и почему это событие произошло; могло ли оно быть предотвращено; чья вина в наступлении этого события? Для ответа на эти вопросы и понимания причин произошедшего можно исследовать элементы разрушенных мостов, однако, как показывает опыт проведения подобного анализа, бывает сложно со 100% вероятностью предвидеть наступление таких событий в процессе проектирования и расчетного анализа мостовых сооружений. Хорошо известным примером является мост Такома-Нэрроуз [66], который разрушился в 1940 году из-за крутильных колебаний пролетного строения моста, вызванных динамическими эффектами от действия ветровой нагрузки, не предусмотренной при проектировании моста. Тонкая и гибкая балка пролетного строения моста не была достаточно прочной, чтобы выдерживать аэродинамические эффекты, вызванные ветром, и это упущение в его конструкции стало причиной катастрофы.

Факт остается фактом: мосты, как известно, разрушаются из-за неожиданных или необычных обстоятельств, и важность таких отказов не следует воспринимать легкомысленно. Способность мостового сооружения выдерживать такие обстоятельства, по крайней мере, в той степени, в которой могут быть предотвращены потери, называется

структурной устойчивостью; эту характеристику необходимо учитывать при проектировании и строительстве мостовых сооружений. Некоторые вопросы анализа разрушений мостовых сооружений приводятся в работах [67–70].

Еще одним примером неожиданного непроектного поведения мостового сооружения является всем известное поведение «танцующего моста» в Волгограде. Мы рассмотрим этот случай в конце пособия, однако для соблюдения истины заметим, что в книге [4] в разделе «Крушения мостов» параграф 14.2 называется «Колебания Саратовского моста через Волгу», хотя в нем описывается непроектное поведение именно Волгоградского моста. На наш вопрос, как это понимать, авторы ответили: мы живем в Красноярске и на таком расстоянии для нас нет большой разницы между Саратовом и Волгоградом! Так что нередко к приводимой в книгах информации надо относиться осторожно.

Проведенный предварительный анализ состояния проблемы показал, что в России проблеме изучения аварийности и разрушения мостовых сооружений и разработке способов предотвращения наступления аварийных ситуаций пока еще уделяется недостаточное внимание и на русском языке отсутствует достаточно полная систематизированная информация об авариях и разрушениях мостовых сооружений.

ГЛАВА 2. АВАРИИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ВЕТРА, ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ, ОШИБОК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

2.1. Аварии, вызванные недоучетом ветровой нагрузки и аэродинамической неустойчивостью

В истории мостостроения известно более десяти случаев разрушения висячих и вантовых мостов из-за аэродинамической неустойчивости [71, 72]:

– 1818 год потерпел аварию вантовый мост Драйбор Эбби через р. Твид в Шотландии с пролетом 79 м разрушение моста произошло во время бури, затем мост был восстановлен с добавлением криволинейной цепи и подвесок;

– 1821 год обрушился мост Юнион (Union Bridge) в Англии с пролетом 138 м;

– 1834 год обрушился мост Нассау в Германии с пролетом 75 м;

– 1836 год обрушился мост Брайтон в Англии с пролетом 77 м;

– 1838 год обрушился мост Монроуз в Шотландии с пролетом 132 м;

– 1839 год обрушился мост Телфорда через р. Мэней в Уэльсе с пролетом 77 м;

– 1848 год под воздействием ветра обрушился вантовый мост в Германии;

– 1852 год обрушился мост Ларош-Бернар во Франции с пролетом 196 м;

– 1854 год обрушился мост Уилинг в США с пролетом 306 м;

– 1869 год обрушился мост Ниагара-Льюистон с пролетом 320 м;

– 1889 год обрушился мост Ниагара-Клифтон (США) пролетом 387 м.

28 декабря 1879 года через 19 месяцев после начала эксплуатации (дата ввода – 30 мая 1878 г.) произошло крушение железнодорожного моста Tay Rail Bridge (Тэйский) через Фёрт-оф-Тэй у г. Данди (Dundee) в Англии. Мост однопутный многопролетный (85 пролетов, длиной от 8,54 до 74,7 м), запроектирован на кривой в плане, общая длина 3264 м, ширина 4,5 м. Пролетные строения – фермы с параллельными поясами (кроме одной с криволинейным верхним поясом). Опоры решетчатые, высотой 24 м, которые в свою очередь опирались на кирпичные быки, установленные на кессонах.

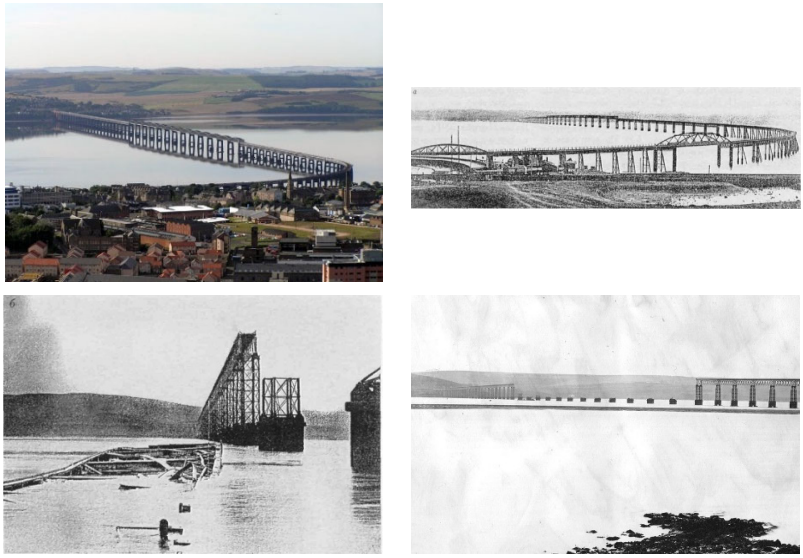


Рис. 2.1. Мост Tay Rail Bridge до и после катастрофы [73]

При скорости ветра 130–140 км/ч 13 судоходных пролетов, перекрытых тремя неразрезными фермами (одной – пяти и двух – четырехпролетными) с пролетами по 74,7 м, вместе с находящимся на них пассажирским поездом обрушились в воду. Частично обрушились и металлические трубчатые опоры вплоть до каменной кладки. Мост имел 20-кратный запас прочности на вертикальную нагрузку и не был рассчитан на ветровую. Мост был проверен на давление ветра 47 кгс/м^2, а в момент катастрофы давление достигало 188 кгс/м^2.

Основные причины – недоучет ветровой нагрузки, недостаточная прочность и устойчивость высоких опор моста на опрокидывание [73], было отмечено также невысокое качество чугунных пролетных строений [Газета «Vossische Zeitung», 1879 г.]. Ф.Д. Дмитриев [16] причину катастрофы усматривает в недостаточной прочности и устойчивости опор на опрокидывание. По его подсчетам, если определить опрокидывающий и удерживающий моменты, то окажется, что мост неизбежно должен был опрокинуться при давлении ветра 115 кгс/м^2, и ни качество материала и работ, ни жесткость связей, ни 20-кратная прочность на вертикальную нагрузку не могли бы спасти мост от обрушения.

7 ноября 1940 года после четырехмесячной эксплуатации произошло крушение моста Тэкома-Нэрроуз в штате Вашингтон (США). Основная причина аварии – чрезмерные динамические крутильные колебания, вызванные ветром [73]. Мост трехпролетный комбинированной системы (висячий с балкой жесткости). Общая длина 1662 м, средний пролет 854 м, два боковых – 335 м, береговой – 137 м, ширина

моста 11,9 м. Мост подвешен на двух стальных канатах Ø 438 мм каждый. Стрела провисания кабеля 70,66 м. Пилоны стальные на бетонных быках. Мост имел очень малую высоту балки жесткости – 2,44 м, что составило 1/100 пролета, и в связи с этим был подвержен сильным колебаниям.

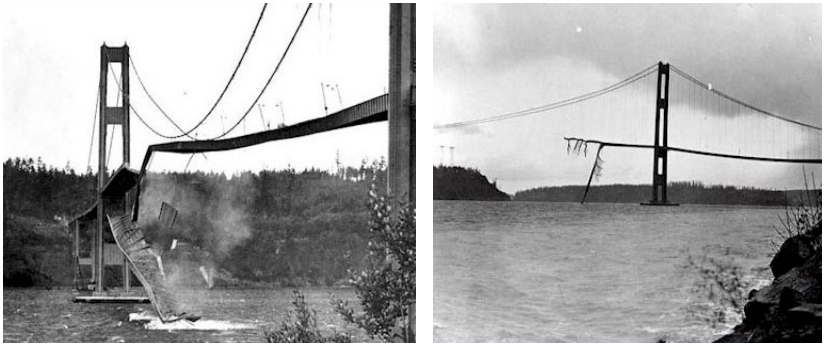


Рис. 2.2. Крушение моста Тэкома-Нэрроуз, 7 ноября 1940 года [73]

В результате аэродинамических колебаний произошло крушение. Обрыв подвесок центрального пролета повлек провисание боковых пролетов и наклон пилонов. Сильные вертикальные и крутильные колебания моста явились следствием чрезмерной гибкости конструкции относительно малой способности моста поглощать динамические силы. В момент крушения скорость ветра была 18,8 м/с. Мост был запроектирован и правильно рассчитан на действие статических нагрузок, в том числе и ветровой, но аэродинамическое воздействие нагрузки не было учтено. Крутильные колебания возникли в результате действия ветра на проезжую часть около горизонтальной оси, параллельной продольной оси моста. Крутильные колебания усиливались вертикальными колебаниями канатов.

Опускание канатов с одной стороны моста и поднятие его с другой вызвали наклон проезжей части и породили крутильные колебания.

К особенностям конструкции моста можно отнести: малая вертикальная жесткость (отношение высоты балки жесткости к длине пролета составляет 1/350); малая ширина моста (отношение ширины моста к длине пролета составляет 1/72); плохообтекаемая конструкция; недостаточная крутильная жесткость (на мосту были установлены только нижние продольные связи); частота свободных вертикальных косометричных колебаний $\omega =$ 0,833 сек$^{-1}$; критическая скорость ветра для данного сооружения 15 м/с.

2 января 2008 года произошло обрушение строящегося путепровода в Приуральском районе на км 72 трассы Обская – Бованенко на полуострове Ямал (Ямало-ненецкий автономный округ). Первоначально произошло разрушение опоры путепровода, а затем обрушение

45-метрового пролета. Наиболее вероятными причинами аварии называют сильный боковой ветер, приведший к потере устойчивости одной из опор путепровода, а также нарушения технологии строительства. При обрушении пролет упал на стоящий под путепроводом грузоподъемный кран, в результате погиб крановщик.

Рис. 2.3. Обрушение путепровода на км 72 трассы Обская – Бованенко на полуострове Ямал, 02.01.2008 г.

Источники: http://forum.bridgeart.ru; http://www.upmonitor.ru; ИА «Интерфакс-Урал»

24 декабря 2008 года произошел обрыв двух вант недавно построенного автодорожного моста на въезде в г. Иерусалим в Израиле. Мост комбинированной системы (вантовый с железобетонной балкой жесткости). Одной из причин инцидента явились сильные порывы ветра.

Рис. 2.4. Общий вид вантового моста на въезде в г. Иерусалим в Израиле

Источник: Израильская газета «Седьмой канал», http://www.sedmoycanal.com

20 мая 2010 года было перекрыто движение по Волгоградскому автодорожному мосту (первой очереди), входящему в комплекс автодорожных сооружений мостового перехода через р. Волга в г. Волгограде, из-за сильного раскачивания конструкции. В связи с происшествием, мост получил неофициальное название «танцующий». Предполагается, что из-за значительной ветровой нагрузки мост вошел в резонанс с амплитудой колебаний в вертикальной плоскости около 50–60 см. По данным Волгоградского областного гидрометеоцентра, ветер в городе достигал 16 м/с (по шкале Бофорта всего 6 баллов «крепкий ветер»). В геодезической службе при РАН сейсмических толчков отмечено не было. Визуальный осмотр конструкций показал, что дорожное покрытие и опоры не получили повреждений. При строительно-монтажных работах применена уникальная конструкция опор с конструктивным разделением вертикальной и горизонтальной нагрузки и устройства ростверков в уровне переменного горизонта воды.

Работы по строительству мостового перехода начались в 1996 году, до 2005 года было завершено всего 40% работ, окончательно первую очередь моста сдали в октябре 2009 года. Длина моста 7,1 км. Более детальный анализ обстоятельств непроектного поведения «танцующего» моста в Волгограде будет рассмотрен в конце пособия.

Рис. 2.5. Волгоградский автодорожный мост через р. Волга, 20.05.2010 г. [74]

26 ноября 2010 года произошло обрушение пешеходного моста через р. Кемь у пос. Гайжево в Карелии. Мост комбинированной системы (висячий со стальной фермой жесткости), длиной 180 м, пилоны выполнены из трубчатых элементов, кабельная система моста имеет цепную конструкцию из стержневых элементов. Строительство моста началось в июле 2000 года ГУП «Мост» по проекту института «Гипромостстрой». В декабре 2001 года мост был открыт. Причинами обрушения называют неблагоприятные погодные условия – отрицательные температуры воздуха, сильный порывистый ветер до 21 м/с, а также конструктивные недостатки системы [Источники: «РИА-Новости»; http://forumbridgeart.ru].

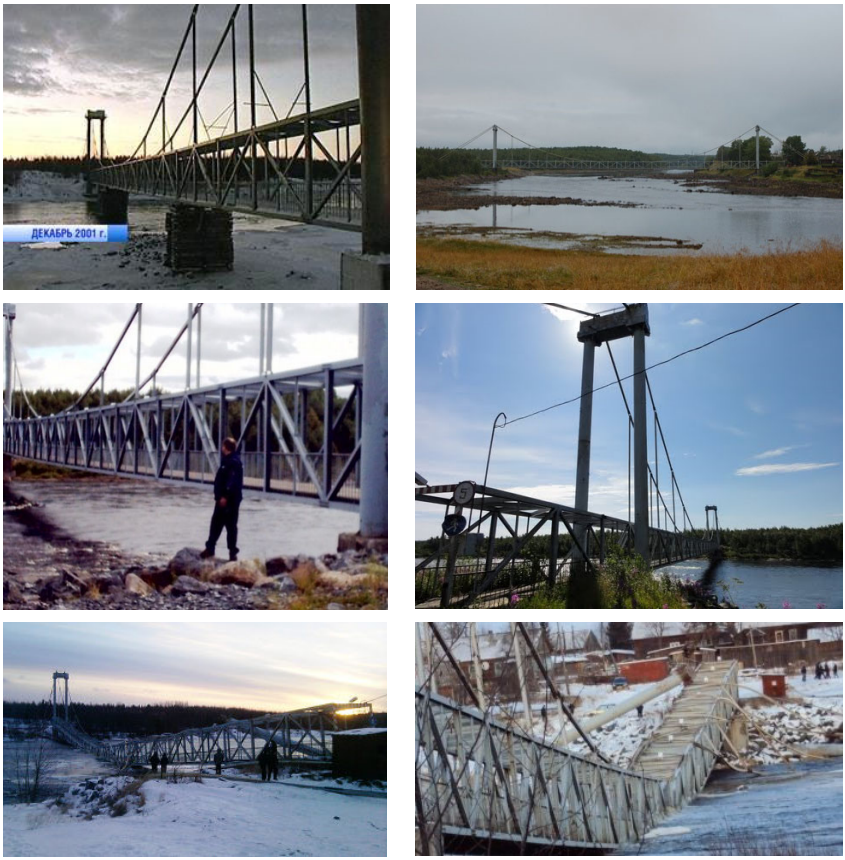


Рис. 2.6. Обрушение пешеходного моста через р. Кемь у пос. Гайжево в Карелии

Источники: «РИА-Новости»; http://forumbridgeart.ru

2.2. Аварии, вызванные потерей устойчивости элементов

В 1891 году произошло крушение железнодорожного моста Мюнхенштайн (Munchenstein-Brucke) через р. Бирс (под г. Базель) в Швейцарии. Однопутный мост, длиной 42 м, был построен в 1872 году знаменитым инженером Эйфелем на магистрали, соединяющей Париж со Швейцарией. Пролетные строения – сквозные фермы с параллельными поясами. Высота ферм 6,2 м, расстояние между осями – 4,7 м. Мост предназначался для пригородного сообщения со скоростями движения до 30 км/ч, позднее по нему началось движение поездов со скоростями более 65 км/ч. Материал – сварочное железо. За год до обрушения мост подвергался усилению. Обрушение моста произошло во время прохождения по нему пассажирского поезда. В результате катастрофы 110 человек погибло, и около 150 было тяжело ранено. Крушение началось в тот момент, когда паровоз еще не достиг, или только что перешел за середину моста.

Основная причина крушения состоит в потере устойчивости вследствие недостаточной жесткости средних раскосов, выполненные из накрест поставленных уголков, соединенных между собой планками через 1,2 м, – знакопеременные раскосы были ошибочно рассчитаны и запроектированы как растянутые [73]. Линия влияния указывает на то, что для среднего раскоса такое загружение наиболее опасно.

По подсчетам Ф.Д. Дмитриева [16], максимальное сжимающее усилие в одном из раскосов составило 22,3 тс, а гибкость – 193. При такой гибкости критическое напряжение для сварочного железа по таблицам Ф.С. Ясинского [75] составляет 530 кгс/см^2, в то время как действительное напряжение в раскосе было 676 530 кгс/см^2.

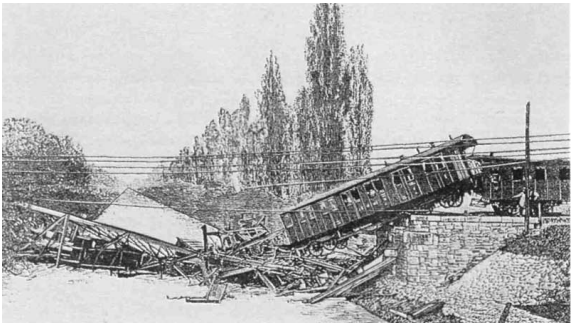


Рис.2.7. Крушение железнодорожного моста Munchenstein-Brucke, 1891 г. [73]

В 1875 году вскоре после окончания сборки произошло крушение железнодорожного моста через р. Кевду в России при проходе по мосту рабочего поезда. Основная причина – потеря устойчивости верхних поясов ферм в плоскости, перпендикулярной плоскости ферм [73].

Мост длиной 33,5 м не имел верхних горизонтальных связей. Верхний пояс ферм представлял собой сжатый длинный стержень, работающий в упругой среде, создаваемой отпором стоек. Недостаточная жесткость стоек оказывала незначительный отпор, и работа пояса проходила в неблагоприятных условиях: момент инерции пояса составлял 6580 см^4, а момент инерции стойки – 215 см^4. Поверочный расчет [16] показывает, что фактическое напряжение в поясе (равное 970 кгс/см^2) значительно превышало критическое (равное 850 кгс/см^2) [75]. Крушение моста через реку Кевду впервые показало русским строителям опасность продольного изгиба, что послужило толчком к развитию теории устойчивости.

Квебекский мост (фр. *Pont de Quebec*) через р. Святого Лаврентия в Канаде. Мост обрушился дважды [73] – первый раз в 1907 году во время строительства. Среди причин главной была потеря устойчивости сжатых стержней при недостаточности решеток связей. Вторая катастрофа произошла в 1916 году во время монтажа конструкций при установке центрального подвесного пролета. Причина – соскользнул балансир.

Мост металлический консольный, соединяет города Квебек и Леви. По назначению мост совмещенный, предназначен для движения автотранспорта по трем полосам, пропуска железнодорожного транспорта, а также предусмотрена и одна пешеходная дорожка. Общая длина моста 988 м. Основной пролет – 549 м, два боковых – по 152,5 м, два береговых – по 67 м, ширина моста 20,4 м, высота фермы на быке составляла 96 м. Конструкция соединения элементов в узлах была смешанной: сжатых на заклепках и растянутых на болтах диаметром 60 см.

Первое крушение произошло в период, когда были выполнены южная половина моста и три панели подвесной фермы. Сборка производилась на весу двумя кранами, которые в момент крушения стояли на консолях фермы. Катастрофа уже наметилась почти за месяц до аварии – большие выгибы сжатых стержней консольных ферм. Нагрузка от собственного веса была занижена в результате того, что величина среднего пролета вначале была принята 488 м, а затем увеличена до 549 м. Нагрузки от собственного веса сильно возросли: половины подвесного пролета – на 17,5%, консоли – на 19,6%, берегового пролета – на 30%. Неправильно рассчитан нижний сжатый пояс – составной стержень (теории расчета составных стержней тогда еще не было). По расчетам Ф.Д. Дмитриева в момент катастрофы фактическое напряжение в одном из элементов нижнего пояса было 1143 кгс/см^2, а критическое напряжение – 1010 кгс/см^2 [16]. Кроме того, нижний сжатый пояс был еще не весь склепан, отдельные его элементы были соединены на временных болтах и не обеспечивали необходимой жесткости.

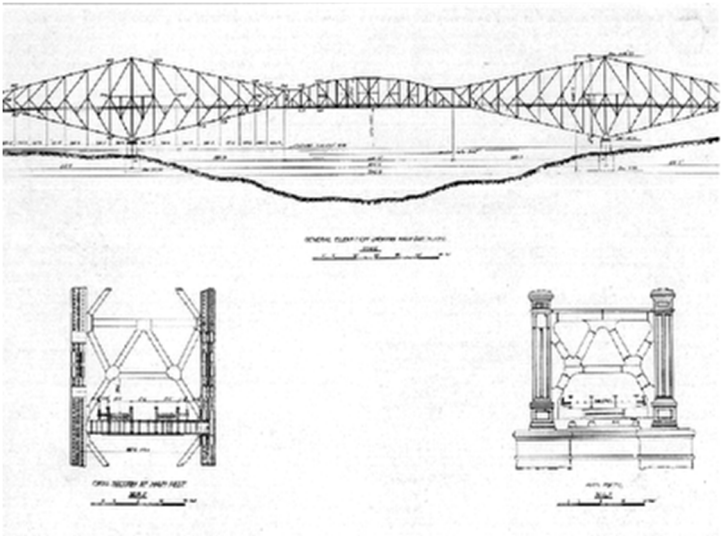


Рис. 2.8. Чертеж консольного моста через
р. Св. Лаврентия (Канада) [73]

Рис. 2.9. Так выглядел мост через р. Св. Лаврентия
после первого крушения в 1907 г. [73]

Использовать оставшиеся после крушения части стальной конструкции было невозможно, и мост запроектировали заново. Новый мост был запроектирован в три раза прочнее и в два с половиной раза тяжелее, чем обвалившийся. Второе крушение произошло через 9 лет, в момент установки центрального подвесного пролета длиной 187 м и весом 5200 т. Когда баржу, на которой покоилась ферма, оттянули, последняя повисла на подъемных цепях, и ее оттягивали к консолям моста, на которых были установлены подъемники. Пролет обрушился внезапно.

Наиболее вероятная причина катастрофы. Поперечная балка, на которой покоились опоры, опиралась на цилиндрические (а не на плоские) шарниры, соединенные с подъемниками цепями, и балка жесткости находилась в неустойчивом положении. Во время подъема ферма под действием собственного веса деформировалась. Балка могла повернуться, и средний балансир мог соскользнуть вдоль нижнего шарнира. Ферма при подъеме, очевидно, имела и перекос, так как количество подъемников на концах консольных ферм было разное (на одном – пять, на другом – шесть). При подъеме новой фермы (вместо затонувшей) были применены уже плоские шарниры, гарантирующие от соскальзывания, и подвесная ферма была благополучно поднята и подвешена к консольным. Из изложенного следует, что соскальзывание, очевидно, явилось основной причиной крушения [16].

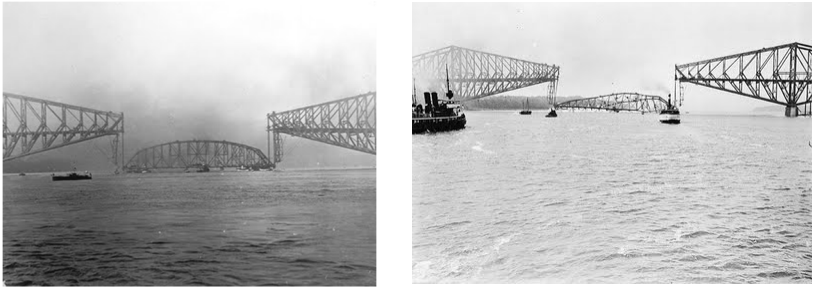


Рис. 2.10. Подъем и обрыв центральной консоли нового Квебекского моста 11 сентября 1916 года [73]

Комитет, расследовавший причины аварии, вынес суждение о том, что она произошла от разрушения крестообразного балансира (это уже является следствием [73]) и высказал еще три возможные причины: появление горизонтальной силы, стремящейся заставить конец пролета соскользнуть с опорных валиков на поддерживающей балке; подъем одного угла пролета опередил подъем на такую же величину соседнего угла, что вызвало потерю устойчивости поддерживающих ферм; разрушение самого пролета вследствие какой-либо ошибки в проекте.

В 1970-е годы потеря устойчивости главных балок от монтажных нагрузок привела к обрушению стальных (с ортотропными плитными элементами) и сталежелезобетонных пролетных строений 11 автодорожных мостов [22]. Наиболее обстоятельный анализ причин обстоятельный анализ причин обрушений был выполнен для мостов через р. Унжу на автомобильной дороге Кострома – Шарья и у г. Хорог в Таджикистане. Анализ показал, что при оценке устойчивости балок недостаточно оперировать устойчивостью только верхнего пояса (при учете случайных эксцентриситетов, пластических деформаций в пре-

дельном состоянии и остаточных напряжений, что является положительным фактором), необходимо учитывать еще и работу всего поперечного сечения балок, а именно, деформируемость контура верхнего пояса и прилегающих участков стенок при недеформируемости нижнего пояса. Такая модель деформирования главных балок и по настоящее время недостаточно изучена теоретически и экспериментально. Вторая причина (характерная для пролетных строений с монолитной плитой) – недостаточный учет всего комплекса технологических факторов, особенно явлений ползучести и усадки бетона. Третья причина – явная перегрузка на монтаже (в отступление от проектов) монтируемых конструкций.

2.3. Аварии из-за ошибок в технологии ведения строительно-монтажных и ремонтных работ

1 ноября 1855 года произошло разрушение пролетного строения деревянного железнодорожного моста в г. Гасконэйд в США. Катастрофа произошла при проходе первого поезда Тихоокеанской железной дороги, из-за того, что не были полностью завершены строительно-монтажные работы – пропуск поезда осуществлялся по временной эстакаде. В результате катастрофы погиб 31 человек и сотни получили ранения.

Контактные поверхности стальных литых шарниров для предотвращения их от ржавления на Мюнхенском каменном мосту были тщательно вычищены, смазаны специальным составом и покрыты стеарином. Коэффициент трения уменьшился, что способствовало скольжению. Большой двухпролетный каменный мост в 1904 году разрушился, так как обе трёхшарнирные арки пролетом по 44 м соскользнули со своих шарниров. Смазка шарниров стеарином оказалась причиной катастрофы [73]. Мост еще не был в эксплуатации.

13 апреля 1934 года при сборке пролетных строений Саратовского железнодорожного моста в черте г. Саратова через р. Волга, произошла деформация пролета, и мост буквально развалился. Погибло около 150 человек. Строительство моста началось в 1930 году.

Рис. 2.11. Проект железнодорожного моста через Волгу (из фондов музея Приволжской ж.д.)

Рис.2.12. Саратовский мост, монтаж правобережных Пролетов (из фондов музея Приволжской ж.д.)

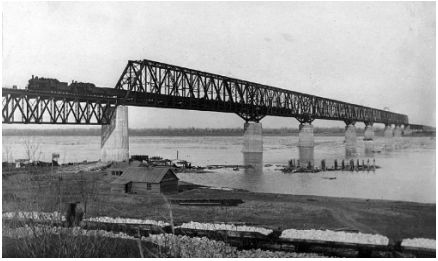


Рис.2.13. Саратовский мост, открытие движения (из фондов музея Приволжской ж.д.)

Принятая схема моста предусматривала перекрытие пойм фермами с ездой поверху. Общая длина моста 1850 м. Длина малых ферм, перекрывающих пойму, по 66 м, расстояние между осями ферм 4,4 м, высота 9,6 м, длина панели 6,6 м. Главное русло перекрыто двухконсольными фермами с подвесками. Фермы над опорами имеют пониженные узлы, высота ферм над опорами 24,6 м, в пролете 19,6 м, расстояние между осями ферм 8,2 м, длина панели 9,3 м. Верхний пояс ферм прямолинейный. Фермы имеют анкерное закрепление на всех речных быках.

В конце 1956 года произошла авария при строительстве автодорожного пешеходного моста Фредрикстад через р. Гломма в Норвегии. Строительство моста осуществляла немецкая компания Stahlbau Eggers. Мост запроектирован общей длиной 824 м, шириной 13,4 м, имеет 23 пролета, центральный пролет 196 м, расстояние от низа пролетного строения до воды 39,5 м. Русловая часть моста выполнена в виде металлической арки с ездой посередине. Металлоконструкции моста собирались на месте – для монтажа использовался плавучий кран. При подъеме каркас из арматурных стержней диаметром 52 мм, длиной несколько десятков метров, рухнул на расположенный под мостом жилой дом. Была частично разрушена крыша, но к счастью, никто не пострадал. Мост был открыт 18 августа 1957 года.

Из-за грубых нарушений правил производства работ в мае 1963 года обрушилось пролетное строение сборного железобетонного моста длиной 205,8 м [76]. Мост был построен в период с 1956 по 1962 г. и состоял из шести железобетонных предварительно напряженных балочных пролетных строений длиной по 33 м. Опоры монолитные бутобетонные на высоком свайном ростверке с 21 железобетонной сваей на каждую опору. Ростверки опор запроектированы из бетона М200. На них постоянно воздействовал водный поток и переменное замораживание и оттаивание. Проектом не предусмотрено армирование ростверка, не предъявлены также требования к бетону по морозостойкости и водонепроницаемости. Ростверк русловой опоры бетонировался в водонепроницаемом бездонном ящике, причем в проекте не оговорены условия укладки

подводного бетона и откачки воды после его укладки. Конструкция ящика была неудачной, что затрудняло его осушение. Кроме того, внутреннее крепление ящика разрезало бетон на пять отдельных частей. Проектом не было также предусмотрено каких-либо мер по защите опоры от влияния агрессивной среды (углекислотной агрессии воды), установленной лабораторными исследованиями.

Авария моста произошла из-за обрушения русловой опоры, повлекшей за собой обрушение двух пролетных строений, опиравшихся на нее. Произошли также деформации и соседних опор пролетных строений, был поврежден ригель одной из опор из-за срыва с него пролетного строения. При падении пролетные строения были сильно повреждены, раскололись на отдельные балки. К дальнейшему использованию они не пригодны. Аварии моста предшествовал сильный паводок, относящийся к разряду высоких, но сосредоточенные размывы у опор не превысили расчетных отметок. Интенсивным был и ледоход, при котором толщина льда достигала 0,8 м при скорости течения воды 1,2–1,4 м/с. Обследование подводной части опоры №3, осуществленное путем промеров и спуска под воду, показало отсутствие бетонного ростверка, объединяющего сваи. Лишь на одной из свай сохранился небольшой массив бетона низкой прочности. Было также установлено, что сваи имеют разную высоту, отличную от проектной, головы свай не срезаны, и их арматура распущена не полностью. Изучение исполнительной документации не позволило установить фактическую технологию бетонирования ростверка. Имелись существенные противоречия и в данных об объемах уложенного бетона. Отсутствуют данные по уходу за бетоном и отбору контрольных образцов. Комиссии, принимавшие мост во временную эксплуатацию, нарушили правила приемки работ по строительству автомобильных дорог мостов. При отсутствии документов, характеризующих качество свайных работ и испытания прочности бетона ростверка опоры №3, мост был принят в эксплуатацию с оценкой «хорошо». Комиссия, расследовавшая обстоятельства аварии, пришла к выводу, что разрушение опоры №3 вызвано разрушением бетона ростверка из-за нарушения технических требований по укладке бетона в ростверк при строительстве моста.

В 1966 г. во время бетонирования обрушился арочный железнодорожный мост в районе Лакатника (НРБ). Были человеческие жертвы. В сущности, обрушился каркас, поддерживающий опалубку, сложная большепролетная деревянная конструкция. Причиной аварии был ряд ошибок, допущенных при статических расчетах.

В 1970 г. обрушилось пролетное строение строящегося моста в г. Мельбурн (Австралия). Общая длина моста вместе с эстакадными участками на подходах превышает 2,6 тыс. м. Мост предназначен для пропуска транспортных средств по четырем полосам (в каждом направлении). Эстакадные участки образованы железобетонными предварительно напряженными пролетными строениями длиной 48,5 и 67,0 м. Центральный участок моста перекрыт металлическими про-

летными строениями. Общая протяженность мостового перехода составляет около 5 тыс. м [76]. Центральное пролетное строение моста – пятипролётная неразрезная коробчатая конструкция, три центральных пролета которой поддерживаются вантами, закрепленными на пилонах. Все ванты расположены в одной плоскости. Поперечное сечение балки жесткости имеет трапецеидальную коробчатую форму при высоте балки 4 м, ширине 25 м на уровне верхнего пояса и 19 м на уровне нижнего пояса. Консольные выступы, располагающиеся по длине конструкции через 3,2 м, увеличивают общую ширину пролетного строения поверху до 37 м.

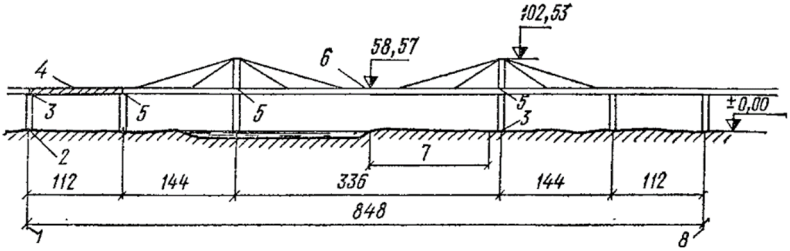


Рис. 2.14. Схема моста в г. Мельбурн (в осях 10-15) [76]
1 – западная граница работ; 2 – заделка; 3 – подвижная часть;
4 – обрушившееся пролетное строение; 5 – шарнир;
6 – наивысшая отметка проезжей части; 7 – будущее уширение реки;
8 – восточная граница работ

Кроме двух наклонных стенок, располагающихся на внешней стороне конструкции, имелись две вертикальные, в результате чего, в коробчатой конструкции балки жесткости были образованы три внутренние полости.

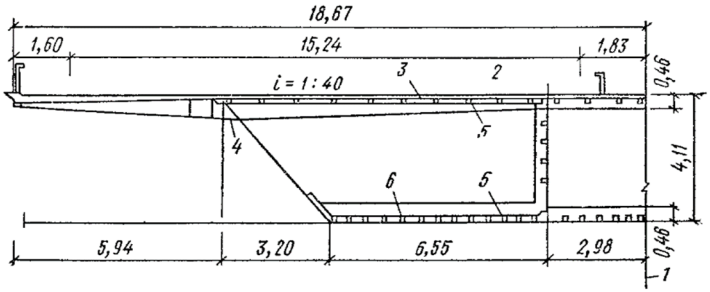


Рис. 2.15. Половина поперечного сечения стальных пролетных строений (к моменту обрушения железобетонной плиты не было) [36]: 1 – продольная ось моста; 2 – три полосы проезда по 3,7 м и одна полоса 4,3 м; 3 – железобетонная плита проезжей части; 4 – поперечные балки и консоли с шагом 3,2 м; 5 – продольные ребра жесткости; 6 – поперечные ребра жесткости с шагом 3,2 м

В продольном направлении конструкция пролетного строения разделена на монтажные балки длиной по 16 м, между которыми предусмотрены монтажные болтовые соединения. К моменту обрушения были смонтированы восемь блоков, перекрывающих пролет между опорами №№10 и 11, и блоки между опорами №№14 и 15 и несколько блоков, консольно нависавших по направлению к опоре №13.

Выбор способа монтажа боковых пролетных строений явился одной из причин, приведших к катастрофе. Было принято решение изготовить две монтажные секции пролетного строения непосредственно на земле рядом с опорами, на которые необходимо установить пролетное строение. Ширина каждой секции равнялась половине ширины пролетного строения (18,5 м), а длина соответствовала полной длине пролетного строения (112 м). По окончании сборки монтажную секцию поднимали до верха опоры и перемещали по вспомогательным балкам в поперечном направлении до проектного положения на дальней стороне опоры. Затем на том же месте производили сборку второй монтажной секции, после чего операции повторяли. Обе монтажные секции должны были соединяться на болтах.

Таким образом, при помощи болтового соединения, располагавшегося по продольной оси пролетного строения, предполагалось образовать коробчатую конструкцию с тремя внутренними полостями. Из-за слабого контроля в процессе сборки монтажных секций расхождение между внутренними ребрами секций в пролете 14–15 составляло 89 мм, а между внутренними ребордами монтажных секций в пролете 10–11 – 114 мм. Недостаточное увеличение жесткости верхнего пояса монтажных секций в пролете 14–15 привело к тому, что выпучивание верхнего пояса между точками опирания секций и серединой пролета составило 140 мм. Для увеличения жесткости верхнего пояса монтажных секций, устанавливаемых в пролете 10–11, использовались специально изготовленные связи жесткости из швеллеров высотой 150 мм, укрепленных в продольном направлении на болтах на верхнем поясе вблизи продольного болтового соединения.

Для регулирования усилий, передаваемых на опоры площадки, на которой производилась сборка секций, была использована система гидравлических домкратов, приводимых в движение одной насосной станцией. Чтобы избежать усиления концевых опор и диафрагм, давление в домкратах поддерживалось на одном определенном уровне в зависимости от положения домкрата в системе. В отчете комиссии, обследовавшей причины аварии, выражается сомнение в том, что с помощью данной системы можно эффективно контролировать продольное очертание собираемой монтажной секции.

Второй причиной катастрофы был метод, который использовался для выправления очертания собранных монтажных секций. Расхождение между очертаниями северной и южной монтажных секций пролетного строения 14–15 устраняли с помощью поддомкрачивания одного

конца пролетного строения на 178 мм, в результате чего отметки точек, расположенных посередине пролета, в обеих монтажных секциях совпадали. Затем монтажные секции были прижаты друг к другу в горизонтальном направлении, что позволило ликвидировать зазор между секциями и приступить к установке поперечных диафрагм в центральной полости коробчатой конструкции пролетного строения. Диафрагмы установили, начиная от центра к концам пролетного строения. В некоторых случаях при установке поперечных диафрагм использовали гидравлические домкраты для исправления местных отклонений очертания профиля секции от проектного. Затем пролетное строение было опущено на опорные части.

Во время постановки и затяжки болтов центрального болтового соединения (расположенного по всей длине пролетного строения) вблизи стыка между блоками №№4, 5 было зафиксировано выпучивание верхней плиты конструкции. Позднее аналогичное явление, приведшее в результате к обрушению, наблюдалось в том же самом месте и при монтаже пролетного строения 10–11. Для уменьшения величины положительного изгибающего момента в точке выпучивания к блоку №8 был прикреплен блок №9, консольно выступающий по направлению к опоре №13. Затем частично были удалены болты в поперечных стыковых соединениях между блоками №№4, 5 и №№5, 6. Болты удаляли на участке верхней плиты, расположенном в пределах внутренней полости коробчатой конструкции. В результате этих операций удалось ликвидировать выпучивание верхней плиты пролетного строения, поскольку после удаления болтов верхняя плита получила возможность ограниченных перемещений, что оказалось вполне достаточным для ее выпрямления. Вторичная постановка болтов в большинстве случаев проводилась без раззенковки отверстий, что указывает на незначительное смещение стыкуемых участков относительно друг друга.

При монтаже строения 10–11 расхождение между очертаниями стыкуемых монтажных секций необходимо было устранить путем установки на участок, примыкающий к центру северной секции, бетонных блоков. Вследствие этого дополнительные напряжения, возникавшие в процессе выправления очертания секции, должны были полностью восприниматься ею. При помощи деррик-крана, смонтированного на блоке №7, на блок №8 были установлены 10 бетонных блоков массой 8 т каждый. Затем эти блоки поочередно перемещали в продольном направлении к центру секции и устанавливали над внутренним вертикальным ребром ее вдоль пролетного строения. После установки блока №7 в стыке между монтажными блоками №№4, 5 было обнаружено выпучивание верхней плиты, достигавшее 89 мм. Затем установка бетонных блоков была прекращена и три оставшихся блока были опущены на землю, хотя расхождение в очертании между северной и южной монтажными секциями в середине пролета оставалось равным 25 мм. Это расхождение было устра-

нено путем местного поддомкрачивания при постановке каждой поперечной диафрагмы. Причем домкраты устанавливали так, чтобы расположенная ниже сторона поднималась вверх, а расположенная выше – опускалась вниз. Деррик-кран, смонтированный на южной стороне блока №7, увеличивал прогиб в середине пролета на 30 мм. Далее была предпринята попытка ликвидировать выпучивание, применяя технологию, как при монтаже пролетного строения 14–15, то есть путем удаления части монтажных болтов в стыке между блоками №№4, 5. Однако каких-либо мероприятий по уменьшению положительного изгибающего момента, например, при помощи установки дополнительного блока, консольно нависавшего по направлению к опоре №12, предпринято не было.

В день обрушения моста начались работы по удалению болтов в стыке между блоками №№4, 5, в результате чего значительно сместилась верхняя плита относительно своего первоначального положения, что привело к защемлению оставшихся болтов в отверстиях. Для удаления оставшихся болтов использовался пневматический гайковерт. При разрушении моста болты с шумом вылетали из отверстий. К моменту, когда болты были удалены с одной стороны стыка на участке, отстоящем от внутреннего ребра на расстоянии примерно 0,6 м, выпучивание верхней плиты над внутренней полостью конструкции внезапно распространилось на плиту над внешней полостью и на вертикальное ребро, примыкающее к верхней плите. Таким образом, северная монтажная секция стала разрушаться, но, поскольку она была соединена с южной секцией, катастрофа произошла не сразу.

По заключению комиссии процесс разрушения происходил следующим образом:

– после удаления болтов пролетное строение 10–11 прогнулось в середине пролета;

– изменение очертания привело к укорачиванию пролетного строения, в результате чего его западный конец соскользнул с подвижных опорных частей, и оно стало падать;

– падающий пролет оборвал систему канатных оттяжек, удерживающих опору, причем блоки №№1–4 упали на вспомогательные здания, располагавшиеся под мостом, и разрушили их. Деррик-кран, установленный на блоке №8, был подброшен в воздух, а затем упал на наклонный участок пролетного строения;

– участок пролетного строения, образованный блоками №№5–8, повернулся на 60^0 по отношению к горизонтали. Продольная сила от собственной массы блоков смяла ранее поврежденные (выпученные) панели, уменьшив общую длину участка примерно на 3 м;

– под действием силы тяжести участок пролетного строения, образованный блоками №№5–8, обрушился на боковую поверхность опоры №11, вследствие чего поперечная балка, по которой осуществлялось перемещение монтажных секций, и опорные части были подброшены вверх, а затем упали на пролетное строение;

– произошло также падение опоры №11, при этом следы скольжения конца блока опоры №8 по боковой поверхности опоры заметны в пределах всей ее высоты;

– обрушившаяся опора №11 упала на илистый грунт берега реки и соскользнула вперед на 12 м, а блок №8 упал на ростверк свайного фундамента.

В 1972 году при бетонировании замыкающего подвесного пролета виадука Cannavino произошло его обрушение [77]. Виадук железобетонный комбинированной системы имеет центральную часть из трех Т-образных рам, соединенных подвесками. Величина двух центральных пролетов составляет 113 м при длине подвесной части 8,5 м. Высота стойки центральной рамы – 73 м. Ригель и стойки рам коробчатые. Ширина ригеля по проезжей части (верхняя полка) – 9,5 м, ширина нижней полки – 4,9 м. Высота ригелей переменная. Ригель предварительно напряженный с внешним расположением пучков. Мост почти был готов, за исключением возведения одной секции замыкающего пролета. При бетонировании этой части и произошло обрушение. Неучтенные дополнительные напряжения от массы вспомогательной конструкции привели к излому консоли Т-образной рамы и отрыву массы свежеуложенного бетона подвесного пролета. Анализ причин обрушения показал, что перегрузка консоли привела к появлению трещин в критическом сечении. Поскольку в этой области предварительно напряженная арматура не была связана с бетоном, трещина раскрылась. Это, в свою очередь, привело к уменьшению площади сжатой зоны и вызвало аварию. В ригеле образовался шарнир. Крайняя часть консоли оторвалась и наклонилась вниз, удерживаемая от падения анкерами пучков высокопрочной арматуры.

Анализ причин аварии показывает, что ее можно было избежать при условии, если критическое сечение было бы обеспечено запасом трещиностойкости, например, армированием обычной арматурой, а высокопрочная арматура имела бы промежуточные анкеры.

По данным работы [78] при обследовании 583 мостов, возведенных путем последовательного бетонирования или наращивания блоков методом отпечатка с последующей надвижкой на пролет, 160 имели трещины в соединительных стыках с раскрытием менее 0,2 мм, а у 227 мостов – более 0,2 мм.

30 мая 2003 года обрушились конструкции путепровода через железнодорожные пути в г. Тэджоне (166 км южнее г. Сеула) в Южной Корее. В результате обрушения строящегося путепровода 15-метровая железобетонная опора упала на железнодорожные пути, что привело к последующему столкновению с препятствием пассажирского поезда, четыре из девяти вагонов сошли с рельсов, один вагон загорелся. Поезд двигался на малой скорости, поэтому инцидент не привел к жертвам. Причинами происшествия названы прошедшие накануне сильные дожди и недостаточное обеспечение безопасности при строительстве.

В июле 2003 года в Иордании обрушился строящийся мост, часть дамбы Аль-Муджиб (Al-Mujib), соединяющей города Мадаба (Madaba) и Карак (Karak). Авария произошла, когда рабочие бетонировали одну из конструкций моста. Погибли десять человек и еще семь получили ранения.

21 июля 2004 года обрушились опоры автодорожного моста через р. Усмань в Воронеже. Мост соединяет правобережную и левобережную части города. Авария произошла в том участке моста, который находился на реконструкции. В момент обрушения на мосту находились семь строителей, все они упали в воду. Один человек погиб, шестеро пострадали.

Рис. 2.16. Обрушение опор моста через р. Усмань в г. Воронеже, 21.07.2004 г.

Источник: Новое телеграфное агентство «НТА-Приволжье», http://www.nta-nn.ru/news

7 августа 2006 года обрушился железобетонный автодорожный мост через Десну в Смоленской области, рядом с поселком Екимовичи Рославльского района. Сооружение было построено в 1957–1961 г. Мост находился на км 351 магистрали Рославль – Москва (старая автодорога Бобруйск – Москва). Длина моста – 294,86 м, высота – 4,5 м, ширина проезжей части – 11,5 м. Схема моста 11х22 м. Опоры моста – массивные гравитационного типа. Авария произошла в период проведения ремонтных работ на мосту, начатых в августе 2005 года, предполагаемое окончание работ было запланировано на октябрь 2006 года. По проекту капитального ремонта моста предполагалось: уширить фундамент, заармировать и уширить тело опоры, удлинить ригель. Работы осуществлялись в два этапа без закрытия движения (в соответствии с заданием на проектирование). Утром на дорожном полотне образовалась трещина, движение транспорта было остановлено. Трещина стала расширяться, мост накренился, а затем под тяжестью дорожного полотна шесть из десяти опор рухнули. Пять пролетов,

каждый длиной по 22 метра, упали на правую сторону дороги и частично перекрыли русло Десны. Одной из причин аварии могли стать ошибки на стадии разработки проекта реконструкции, включая решение по удлинению ригеля без уширения тела опоры. В результате равнодействующая вертикальных сил от собственного веса конструкции вышла за пределы опирания тела опоры на плиту фундамента. В ходе следствия установлено, что работы по капитальному ремонту моста через реку Десна проводились с отступлениями от проекта, прошедшего экспертизу и рекомендованного к утверждению, изменения в проекте не прошли всей процедуры согласования и поэтому не могли быть использованы при ремонте моста. Имущественный ущерб был оценен в размере 80,3 млн руб.

Семь опор строящегося совмещенного автомобильно-железнодорожного Дарницкого моста в г. Киеве на Украине дали трещины глубиной в метр. Мост начали строить в 2006 г. без экспертизы проекта. Эксперты увидели проектную документацию только после того, как семь (№№6–12) опасных опор были построены. По мнению экспертов, эти опоры дали трещины вследствие несоблюдения строительных норм при строительстве – вместо железобетона использовался чистый бетон, который рушится даже без предполагаемых проектных нагрузок. Кроме того, допущена грубая ошибка в расчетах при проектировании – содержание арматуры в бетоне должно быть 200 кг/м^3, а в возведенных опорах – всего 20 кг/м^3. Выход из аварийной ситуации в сносе или разборке дефектных опор и возведении их заново.

4 сентября 2006 года произошло разрушение железобетонной поперечной балки строящегося автодорожного путепровода через железнодорожные пути на ул. Восточной в Екатеринбурге (Свердловская область) в то время, когда 20-тонный монтажный кран въехал на мост. Сумма ущерба от обрушения оценивается 200 млн. рублей. Экспертиза проекта проведена не была [79]. Наиболее вероятными причинами рассматривались две: ошибки в расчетах и технологии ведения строительно-монтажных работ. По мнению члена-корреспондента РААСН, д.т.н., проф. Уральского университета путей сообщения С. Скоробогатова, причиной обрушения стали именно ошибки в проектировании. Выяснилось, что только 24 из 80 стержней арматуры пролетов были соединены между собой – как и предполагалось по проекту. Остальные концы арматуры предполагалось заанкерить в бетоне специальными приспособлениями. В этом и кроется ошибка проектировщиков: они понадеялись, что при неполном креплении основной арматуры балка выдержит расчетную нагрузку в 80 т. Но этого не случилось: частично закрепленная арматура поперечной балки не выдержала испытания на растяжение и изгиб, балка стала медленно разрушаться под тяжестью собственного веса.

Рис. 2.17. Путепровод на ул. Восточной в Екатеринбурге, 4 сентября 2006 г. Фото авторов

В результате четыре пролета 165-метровой автотранспортной эстакады, по которой должны были пустить по три транспортных потока в обе стороны, за полтора-два месяца до сдачи в эксплуатацию обрушились. По мнению зав. отделом геомеханики Института горного дела УрО РАН, д.т.н. А. Сашурина действительная причина происшествия так и не была выявлена комиссией по расследованию. По всем признакам деформирование и разрушение путепровода вызвано подвижками земной поверхности в районе разрывных тектонических смещений. Не конкретные нарушения, не отдельный брак – вся конструктивная система не соответствовала условиям строительства и эксплуатации [80]. Мост возведен в условиях крупного тектонического нарушения, прослеживаемого на территории Екатеринбурга. В то же время характер разрушения ригелей вовсе не свидетельствует о том, что они разрушились от собственного веса пролетов. При вертикальной нагрузке максимальный изгибающий момент в основном несущем элементе должен приходиться на край опоры, где наиболее вероятно возникновение трещин от растягивающих напряжений. Трещина должна иметь максимальное раскрытие на верхней границе ригеля, быть близка к вертикали и затухать к нейтральной плоскости, разделяющей области растяжения и сжатия.

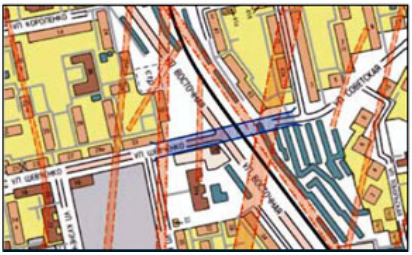


Рис. 2.18. Тектоническое строение участка сооружения путепровода на ул. Восточной в Екатеринбурге [40]

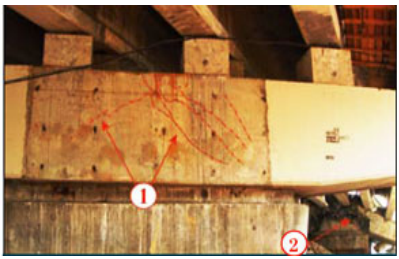


Рис. 2.19. Начальная и конечная стадия разрушения ригелей моста (вид со стороны города): 1 – первичные трещины, 2 – завершающая стадия разрушения [80]

В действительности трещины в ригелях, хорошо просматривающиеся на начальной стадии разрушения, наклонны, сходятся в центре над опорой и не имеют одинаковое раскрытие, как в верхней части, так и в нижней. То есть со всей очевидностью вытекает вывод, что ригели повреждены силами, действующими в горизонтальной плоскости. И лишь после разрушения под действием собственного веса и веса верхнего строения моста вся его конструкция «опустила крылья». Это уже завершающая стадия разрушения.

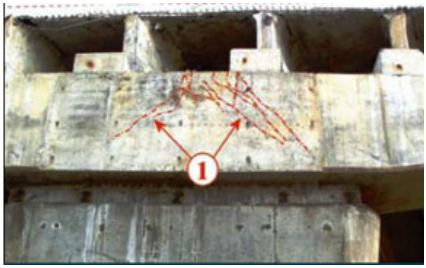


Рис. 2.20. Начальная стадия разрушения моста: 1 – первичные трещины одинакового раскрытия по высоте ригеля [80]

Рис. 2.21. Завершающая стадия разрушения моста [80]

Возникновение горизонтальных сил в конструкции моста представляет собой нештатную нагрузку, не предусмотренную проектом, и обусловлено геодинамическими подвижками по одному из тектонических нарушений или по всей совокупности. К сожалению, их активность никем не исследовалась.

Наиболее вероятный вариант развития событий объясняется очередной скачкообразной подвижкой по тектоническим нарушениям, которую

могло спровоцировать воздействие тяжелых железнодорожных составов и интенсивное движение на улице Восточной. Блоки с расположенными на них опорами моста сместились относительно друг друга, разрядив накопившуюся упругую энергию и вызвав соответствующие деформации. Взаимные горизонтальные смещения опор привели к развитию изгиба и горизонтальному сдвигу в жестком верхнем строении моста, который, собственно, и вызвал разрушение несущих ригелей.

Об этом говорит и специфика разрушения. Во-первых, ригели повреждены в наклонной плоскости, соединяющей край опоры с серединой основного несущего элемента, совпадающей с нейтральной осью изгибаемого в горизонтальной плоскости сдвиговой деформацией верхнего строения моста. Во-вторых, этим объясняется примерное равенство раскрытия трещин по плоскости разрушения по всей высоте ригеля: излом его происходил в горизонтальной плоскости, а перемещения в вертикальном направлении – складывание крыльев – это уже последующая деформация. То есть основной несущий элемент сначала сломался под действием горизонтальных сил, а затем свободно опустился под собственным весом и нагрузкой от верхнего строения.

27 декабря 2006 года произошло обрушение строящегося моста через р. Западную Двину у деревни Комары в пригороде г. Витебска (Республика Беларусь). После монтажа неразрезного металлического пролетного строения с двумя коробчатыми главными балками методом продольной надвижки, произошла деформация пролетного строения под собственным весом в 1200 тонн и последующее его обрушение.

Рис. 2.22. Обрушение строящегося моста через р. Западную Двину, 27.12.2006 г.

Источник: http://forum.bridgeart.ru

13 августа 2007 года при строительстве моста через реку Цзяньто в уезде Фэнхуан в Китайской провинции Хунань внезапно произошло обрушение. Мост арочный железобетонный, длиной 320 метров. Трагедия произошла в вечерний час пик, поэтому автомагистраль, соединяющая города Фенхуан и Дасин, была загружена. На ней находилось

в общей сложности 123 рабочих, снимавших строительные леса. В результате обрушения 44 человека погибло, 22 человека получили ранения, 46 человек пропали без вести. Группы расследования и эксперты считают причиной случившегося изъяны в проекте и дефекты в качестве, как самой конструкции моста, так и использованных материалов. По задумке авторов проекта, модель моста, сооружённого из камня и бетона, была выбрана вместо стальной конструкции, чтобы не нарушилась «гармония с природой вокруг».

Рис. 2.23. Обрушение моста в Китайской провинции Хунань, 13.08.2007 г.

Источник: http://forum.bridgeart.ru

1 сентября 2007 г. в г. Карачи (Пакистан) на оживленную автостраду обрушился 100-метровый пролет только что построенного путепровода на автодорогу на юге страны. Путепровод был открыт в августе 2007 года. Пролет путепровода обрушился с высоты около 15-ти метров. В момент обрушения на мосту находились 4–5 автомобилей. Под бетонными плитами оказались несколько легковых автомобилей и пассажирский микроавтобус. Погибли четыре человека и более десяти получили ранения. Одной из вероятных причин называют низкое качество строительных работ.

8 ноября 2007 года в прибрежном районе Марина (Marina) эмирата Дубай (Dubai), расположенного на берегу Персидского залива, обрушился строящийся мост. В момент обрушения на мосту находились около 40 человек. В результате инцидента семь человек погибли и 24 человека были госпитализированы. Одной из причин называют нарушения, допущенные в ходе строительных работ. Обрушение произошло в результате падения стальных прутьев массой 1,5 тонны с грузоподъемного крана из-за неправильной строповки груза, который при падении повредил опоры моста.

Рис. 2.24. Обрушение моста в прибрежном районе Марина (Marina) эмирата Дубай (Dubai), 08.11.2007 г.

Источники: http://lenta.ru; ИА «Reuters», http://www.alertnet.org, ИА «BBC», http://news.bbc.co.uk

17 апреля 2008 года в Калужской области произошло обрушение части конструкций верхнего строения автодорожного моста через Оку («Гагаринский мост») из-за нарушения производства работ. Консольная балка обрушилась с опоры №9. Трагедия случилась из-за того, что, в нарушении технологии производства работ козловой кран находился в зоне работы стреловых кранов по демонтажу моста, наехал на пролетную балку, не укрепленную снизу временными технологическими опорами, что и привело к обрушению части конструкций моста. Мост был построен в 1967 году, а в 2000 году признан аварийным. Обрушение произошло в период выполнения работ по реконструкции моста.

Рис. 2.25. Обрушение моста через р. Оку в Калужской области, 17.04.2008 г.

Источник: ЗАО «Взгляд.Ру»

3 июля 2008 года произошло обрушение автодорожного моста через р. Вельгийка в пригороде Боровичей в Новгородской области. Мост железобетонный балочный, длиной около 50 м, построен в 1964 году, реконструирован в 1995 году. Причинами происшествия называют низкое качество изготовления пролетных строений, нарушения в технологии строительства при проведении работ по реконструкции, а также плохое содержание моста в процессе эксплуатации. По аналогичным проектам построены 11 мостов в Новгородской области.

Рис. 2.26. Обрушение автодорожного моста через р. Вельгийка в пригороде Боровичей в Новгородской области, 03.07.2008 г.

Источник: Вести.Ру; ГТРК «Славия»

23 ноября 2008 г. произошло обрушение автодорожного моста через р. Джелум в ста километрах к западу от г. Сринагара в штате Кашмир (Индия). Мост над глубоким ущельем строился около двух лет, готовился его пуск в эксплуатацию. После испытаний моста на прочность, была выявлена трещина в покрытии проезжей части. Игнорируя необходимость выявления причины дефекта, не было перекрыто движение транспорта по мосту. При проезде автомобиля с рабочими, когда грузовик достиг середины пролета, сооружение обрушилось. В результате погибли 24 человека.

19 декабря 2008 года произошло обрушение строящегося пешеходного моста через овраг в Ботаническом саду г. Атланты на юго-востоке США. Один человек погиб и 17 человек получили ранения, семь из них – тяжелые, при обрушении железобетонных конструкций моста в овраг. Все пострадавшие были строителями. Причины обрушения (даже предварительные) не называются.

Рис. 2.27. Пешеходный мост через овраг в Ботаническом саду г. Атланты (аналогичная конструкция)

Источники: РИА «Новости»; ИА «Associated Press»; http://www.russianla.com

4 августа 2009 обрушилась часть путепровода на ул. Северной в г. Краснодаре. 12 метров тротуара вместе с ограждениями начала потихоньку сползать, а потом рухнула вниз на железнодорожные пути по улице Щорса. Вероятная причина аварии состоит в неудовлетворительной работе водоотвода и невыполнении ремонтных работ пешеходной зоны путепровода, а также вибрация от плотного движения автотранспорта и резкие перепады температур. Мост был построен в 1976 году.

Рис.2.28. Вид путепровода в г. Краснодаре после обрушения тротуарной конструкции

Источник: http://www.rosbalt.ru

11 сентября 2009 года в Казахстане в городе Атырау на строительстве нового автодорожного моста через р. Урал, соединяющего улицы Мечникова и Баймуханова, произошла авария. Во время строительно-монтажных работ в реку Урал упал центральный пролёт длиной 106 м

строящегося моста шириной 18 м. Погибло 8 человек. Авария произошла вследствие схода среднего пролета с временных опор на основе понтонных сооружений. Основная причина – нарушение технологии работ при сведении уровня пролетов моста. В ночь перед аварией наблюдался подъем уровня воды в реке Урал на 10–12 см. По этой причине, при соединении основного пролета, надвигавшегося с правого берега, и другого пролета моста, произошло расхождение на 12 см. Между ними образовался зазор, равный 8 см. Рабочими с помощью специальных домкратов производилось сведение пролетов моста и стыковка путем опускания основного среднего пролета. При этом произошло скольжение и основной пролет моста, дав правый крен, упал в реку.

Рис.2.29. Автодорожный мост через р. Урал
в г. Атырау в Казахстане

Источники: «Интерфакс-Казахстан»; «Vesti.kz»; http://forum.bridgeart.ru

19 октября 2008 г. и 12 июля 2009 г. произошли две аварии на строительстве метромостов в Нью-Дели (Индия). В первом случае авария произошла в тот момент, когда строительный кран поднимал на опоры моста многотонные бетонные плиты. Не выдержав нагрузки, кран вместе с грузом упал на землю, увлекая за собой стальные балки 150-метрового пролетного строения моста, которое, в свою очередь, рухнула на автобус. По данным местной полиции, по меньшей мере, 17 человек получили травмы различной тяжести. По предварительному заключению экспертов, причиной катастрофы стала неисправность в системе подъемников. Во втором случае произошло обрушение 3-метровых консолей моста, вслед за которыми обрушились железобетонные плиты. Погибли 6 человек, еще 15 получили ранения. Возможной причиной этих аварий может являться ускоренные темпы строительства новых веток метрополитена в индийской столице (такое интенсивное строительство связано с Играми Содружества – 2010, которые пройдут в Нью-Дели), что приводит к несоблюдению технологии ведения строительно-монтажных работ в полном объеме.

Рис.2.30. Аварии на строительстве метромостов в г. Нью-Дели (Индия) в 2008, 2009 г.

Источники: http://forum.bridgeart.ru; Вести.Ру

7 ноября 2009 г. произошло разрушение двадцатиметрового фрагмента железобетонного пролетного строения путепровода возле горного тоннеля Дос Валирес в округе Ла-Массана на северо-западе Андорры, которая расположена между Францией и Испанией. Обрушение произошло во время строительных работ, в которых было задействовано около шестидесяти человек. По меньшей мере, пять человек погибли и шестеро получили ранения. Мост должен был соединять тоннель «Dos Valires» между городами Инкамп и Ла Массана и скоростную автостраду. Причину обрушения связывают с влиянием перепадов температур (в течение дня температура в горах на французско-испанской границе начала быстро падать) на процесс твердения бетона.

Рис. 2.31. Обрушение фрагмента железобетонного пролетного строения путепровода в государстве Андорра, 07.11.2009 г.

Источник: Вести.Ру; Строительный портал «2Stroy», http://www.2 stroy.ru/

14 ноября 2009 года произошло обрушение строящегося путепровода высотой 30–40 м на участке автострады в провинции Чмэцзян, г. Вэньчжоу в Китае. Один человек погиб, семь получили ранения.

Рис. 2.32. Обрушение путепровода на участке автострады в провинции Чмэцзян, г. Вэньчжоу, Китай. 14.11.2009 г.

Источник: http://russian.news.cn

24 декабря 2009 г. на северо-западе Индии частично обрушился строящийся мост через реку Чамбал в штате Раджастхан. Мост должен был соединить два округа – Кота и Удайпур. Строительство моста вели совместно две компании – южнокорейская Hyundai Engineering и Gammon India. Всего в момент обрушения на стройке находилось более 50 человек. Погибли 17 человек, несколько десятков пострадали. Все жертвы и раненые – строители, занятые в сооружении моста. Вероятной причиной трагедии стали низкое качество строительных конструкций и неудовлетворительная организация строительных работ. Инцидент произошел, когда рабочие поднимали на высоту бетонные плиты, которые рухнули вслед за одной из опор.

Рис. 2.33. Обрушение строящегося моста через р. Чамбал в Индии, 2009 г.

Источник: http://forum.bridgeart.ru

11 января 2010 г. на севере Индии обрушился строящийся путепровод. Специалисты считают, что причиной обрушения несущих конструкций, которое вызвало гибель людей, стали дефекты арматуры железобетонной опоры моста. Кроме того, обрушению способствовали прошедшие накануне проливные дожди.

Рис. 2.34. Обрушение моста на севере Индии, 11.01.2010 г.

Источник: РИА «Новости»

22 января 2010 года внешне проявились грубейшие нарушения технологии изготовления железобетонных элементов автодорожного моста через р. Вусун в центре г. Шанхай в Китае. Эксплуатация моста продолжалась несколько месяцев, после чего стали наблюдаться крошение отдельных железобетонных элементов. После обследования специалистами выявлено, что вместо бетона в некоторых местах были пустоты, заполненные обломками строительных лесов, пенопластом, мешками из-под цемента и другим строительным мусором.

Рис.2.35. Фрагменты автодорожного моста через р. Вусун в центре г. Шанхай в Китае

Источник: http://chel.kp.ru/daily

21 сентября 2010 года произошло обрушение монтажного блока железобетонной балки жесткости пешеходного путепровода в г. Нью-Дели в Индии. Строящийся пешеходный путепровод, длиной более 95 м, должен связать Центральный стадион имени Дж. Неру с автомобильной стоянкой. Пешеходный путепровод запроектирован висячей системы со стальным арочным пилоном коробчатого сечения и железобетонной балкой жесткости. Обрушение произошло во время строительно-монтажных работ при бетонировании стыка железобетонных монтажных блоков. Причиной обрушения называют обрыв одного из креплений подвески. По крайней мере, 23 человека пострадали в результате инцидента.

Рис. 2.36. Обрушение строящегося пешеходного путепровода в г. Нью-Дели в Индии, 21.09.2010 г.

Источники: ИА «The Times of India»; «Lenta.ru»; http://forum.bridgeart.ru

ГЛАВА 3. АВАРИИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ, РЕЗОНАНСА, ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

3.1. 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 [81].

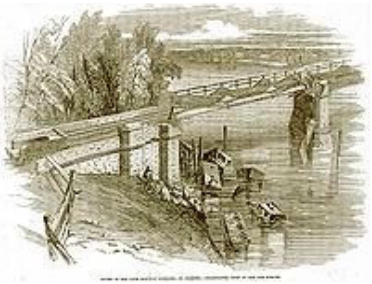


Рис. 3.1. Катастрофа моста Dee в г. Честер, 24.05.1847 г. [81]

26 сентября 1860 года произошло обрушение железнодорожного моста Булл, г. Булбридж, графство Дербишир (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 [73]. 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.

Рис. 3.2. Обрушение пролета пешеходного моста в городе Конкорд штата Северная Каролина, США, 22.05.2000.

Источники: газета «Комерсантъ» №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»].

Рис. 3.3. Мост через р. Ингури

Источник: http://www.kavkaz-uzel.ru

Рис. 3.4. 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.

Рис. 3.5. Фермы моста автомагистрали I-35W через реку Миссисипи [82]

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 36^0С).

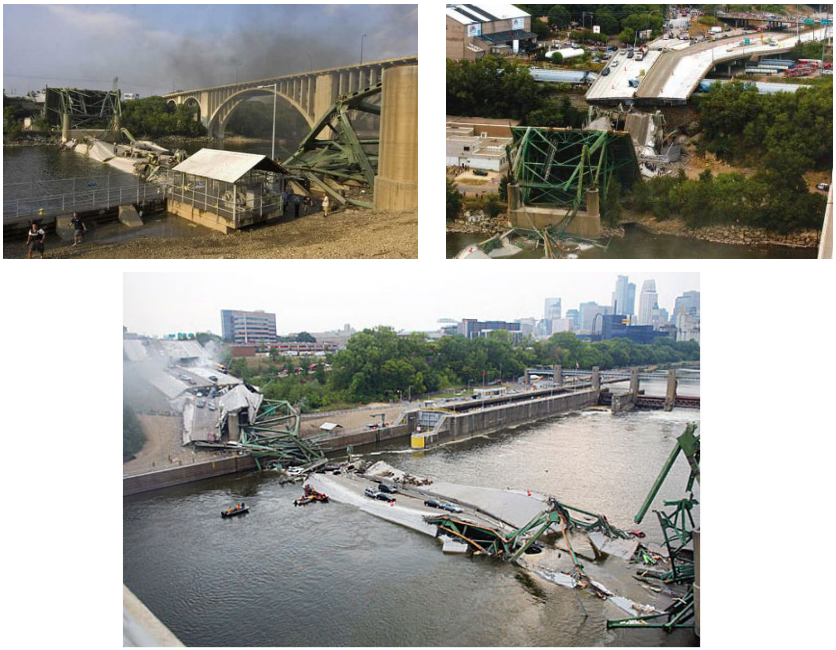


Рис. 3.6. Вид моста через реку Миссисипи после обрушения [82]

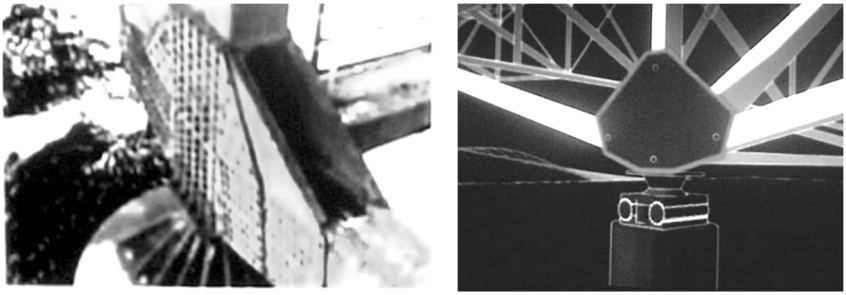


Рис. 3.7. Стальные крепления, соединяющие прогоны пролетной фермы, на опорах моста через р. Миссисипи в Миннеаполисе [82]

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.

Рис. 3.8. 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»; htth://www.mosty.ru].

Рис. 3.9. Мост через реку Черемош в Черновицкой области после обрушения пролета

Источник: htth://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 посредине 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.

Рис. 3.10. 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.

Рис. 3.11. 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.

Рис. 3.12. 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.

Рис. 3.13. 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.

Рис. 3.14. 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.

Рис. 3.15. 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.

Рис. 3.16. Автодорожный мост через р. Киш в Шекинском районе Азербайджана

Источники: http://ru.apa.az/search.php; http://forum.bridgeart.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.

Рис. 3.17. Вид моста через реку Колокша в центре лыжного спорта «Демино» вблизи города Рыбинска в Ярославской области

Источник: http://www.ntm-tv.ru/news/

3.2. 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 [83].

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

Рис. 3.18. Восстановленный Браутонский 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 [84].

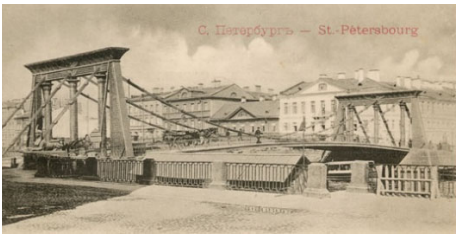


Рис. 3.19. Общий вид Египетского моста [84]

Рис. 3.20. Катастрофа на Египетском мосту [84]

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 проволочных 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.

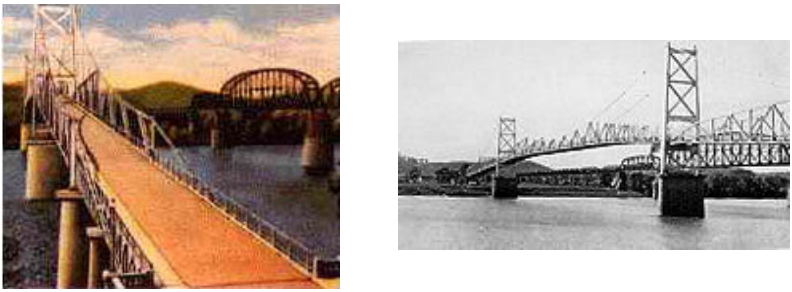


Рис. 3.21. Серебряный мост через Огайо после окончания строительства в 1928 году

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

Рис. 3.22. 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 [85] 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 [85].

16 июня 1997 года во время церемонии открытия XV Маккабиады 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: Маккабиада – 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 [86]: «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».

Рис. 3.23. 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 Сламет. 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 западногрузинском 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.

Рис.3.24. 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).

Рис. 3.25. 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.

Рис. 3.26. Обрушение моста через р. Аргун на 656 км федеральной трассы «Кавказ», 07.09.2008 г.

Источник: «Вести.Ru»

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.

Рис. 3.27. 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.

Рис. 3.28. 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.

Рис. 3.29. 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.

Рис. 3.30. 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.

Рис. 3.31. Обрушение пролетного строения путепровода на 1346 км федеральной трассы М-4 «Дон» в Тахтамуканском районе Республики Адыгея, 20.05.2010 г.

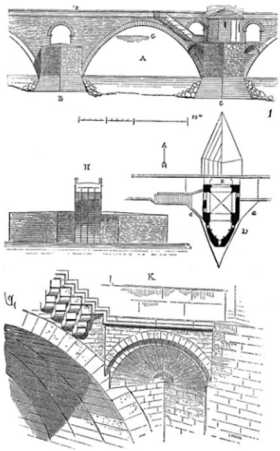
Источники: http://www.livekuban.ru; http://forum.bridgeart.ru

3.3. 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.

Рис. 3.32. Мост Сен-Бенезе на р. Роне близ г. Авиньон во Франции

Источник: http://ru.wikipedia.org



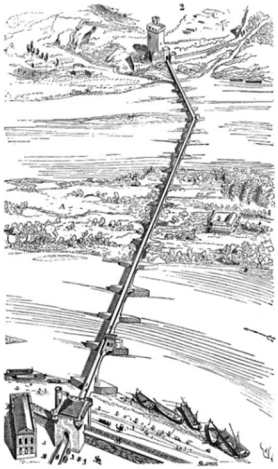


Рис. 3.33. Схемы моста Сен-Бенезе в книге о французской архитектуре XI-XVI веков архитектора Эжана Эммануэля Эжена

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: http://ru.wikipedia.org].

Рис. 3.34. 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 [87]. Мост возводился в 1960-1965 г.г. 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 трусов. 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 коррозировать. 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 [22]. 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.

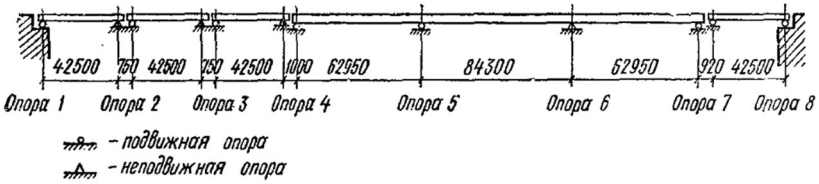


Рис. 3.35. Расположение опор автодорожного моста через реку Клязьму у села Пенкино [22]

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/м^2.

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^{0}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 м 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 42^0С и ниже в пойме реки); наличие существенной неоднородности примененной в конструкциях стали по хладоломкости; динамичного 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 53^0 и состоял из двух главных стальных балок со сплошной стенкой высотой 2700 мм и четырех дополнительных балок, объединенных между собой диафрагмами [88]. 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.

Рис. 3.36. 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.

Рис. 3.37. 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.

Рис. 3.38. 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.

Рис. 3.39. 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.

Рис.3.40. 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.

Рис. 3.41.Обрушение части путепровода на платформе Тестовская 02.03.2007 г.

Источник: http://www.apatech.ru

Рис. 3.42. 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.

Рис. 3.43. 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.

Рис. 3.44. Пешеходный мост в городе Козятин
в Винницкой области на Украине

Источник: http://forum.bridgeart.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.

Рис.3.45. 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, находившие на мосту во время аварии.

Рис. 3.46. Обрушение тротуарных конструкций автодорожного 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 автострады Тяньцзинь-Шаньси в китайском городе Чжучщоу. 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.

Рис. 3.47. Обрушение виадука на участке скоростной автострады Тяньцзинь-Шаньси в Китае, 15 июля 2009 г.

Источник: https://yandex.ru/images/search?text=обрушение% 20виадука%20автострады%20Тяньцзинь-аньси&stype=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.

Рис. 3.48. Обрушение пролетного строения автодорожного моста через реку Ингода на автодороге местного значения Татаурово – Дровяная Улетовского района Забайкальского края

Источник: ИА «Чита.Ру»

ГЛАВА 4. АВАРИИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ НАРУШЕНИЯ ГАБАРИТА, ОТСУТСТВИЯ НАДЗОРА, ПОЯВЛЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСИЛИЙ

4.1. Аварии вследствие недостаточной надежности и расстройства 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 [89; 73]. 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 раскоса 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 [76]. 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.

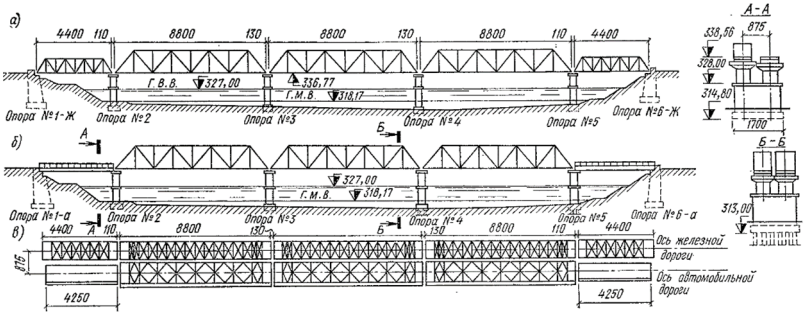


Рис. 4.1. Пятипролетный автодорожный мост [76]:
а) фасад с железнодорожными пролетными строениями;
б) фасад с автодорожными пролетными строениями;
в) план пролетных строений

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 фасонок 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 [90]. 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.

Рис.4.2. Обрушение моста в отеле «Hyatt Regency» в США, 17.07.1987 г. [90].

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).

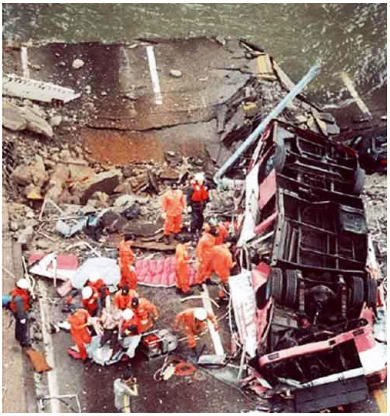


Рис. 4.3. Обрушение автодорожного моста Сонг-Су в Южной Корее, 21.10.1994 г.

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 фасонок, 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. Ка-

чество 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 [22]. 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 А [91]. 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 сравнительно небольшой для конструкций северного А исполнения отрицательной температуры (минус 30^0С).

Рис. 4.4. Мост через протоку Юганская Обь в районе города Нефтеюганска, вид со стороны старого моста (фото авторов)

4.2. 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 [73]. Однопутный мост имел три пролета: два крайних – по 33 м и средний – 88,7 м. Мост располагался на кривой в плане. 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.

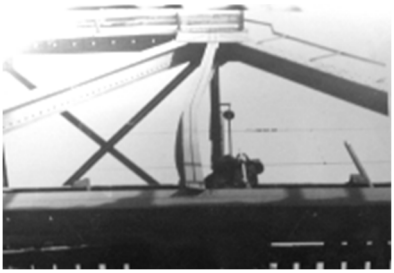


Рис. 4.5. Поврежденная стойка фермы путепровода 18 пути, Кинель, 1964 г.

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 первозданном 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.

Рис. 4.6. Володарский мост в городе Санкт-Петербурге

Источник: https://yandex.ru/images/search?text=володарский%20мост%20спб&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 Уралгипротранса. 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 IKEA

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.

Рис. 4.7. 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.

Рис. 4.8. 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.

Рис.4.9. 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].

Рис. 4.10. 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.

Рис. 4.11. 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.

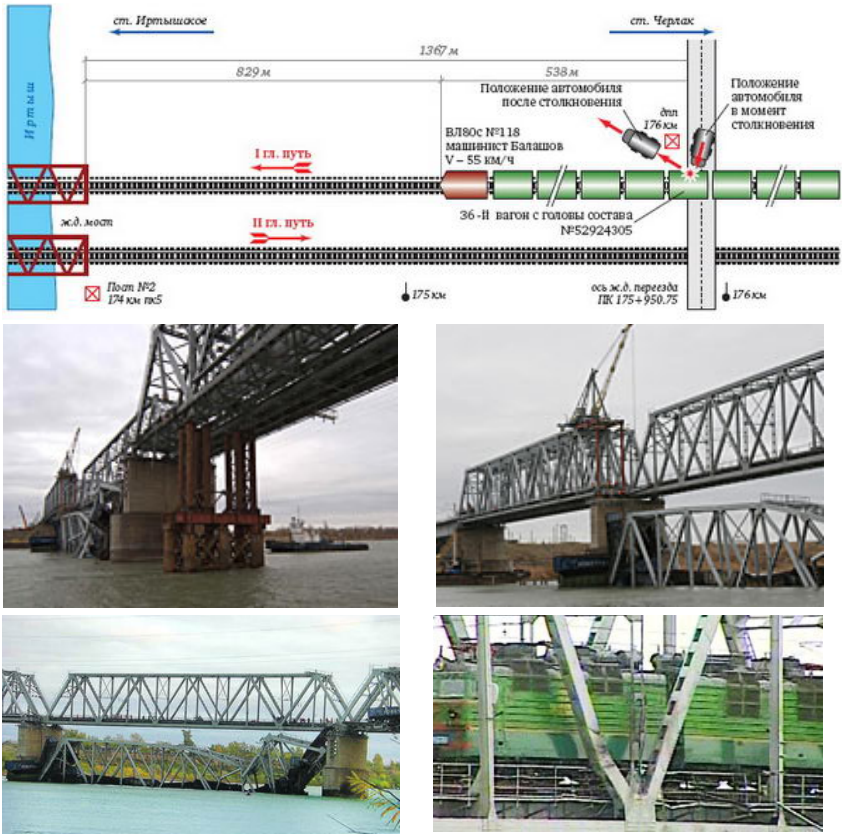


Рис. 4.12. Вид моста через р. Иртыш в Омской области после катастрофы

Источник: http://forum.bridgeart.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 груженый 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.

Рис. 4.13. Обрушение пешеходного путепровода в г. Мариуполь, 16.10.2008 г.

Источник: http://forum.bridgeart.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.

Рис. 4.14. 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 «Howo» 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.

4.3. 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].

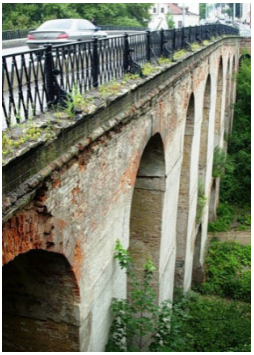


Рис. 4.15. Каменный мост в Калуге

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.

Рис. 4.16. 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.

4.4. 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.

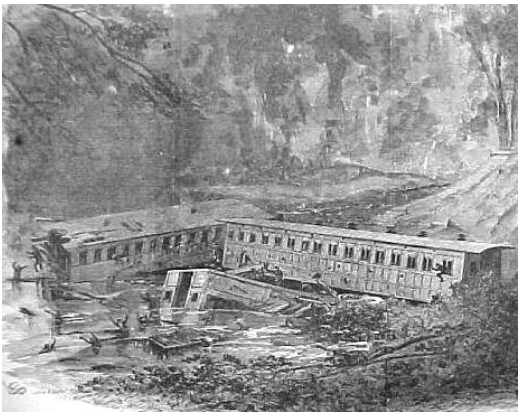


Рис.4.17. Катастрофа железнодорожного моста Спринбрук, 27.07.1859 г. [22]

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) [92]. 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.

Рис. 4.18. Катастрофа при строительстве Романовского моста через Волгу в Зеленодольске в 1912 г. [26]

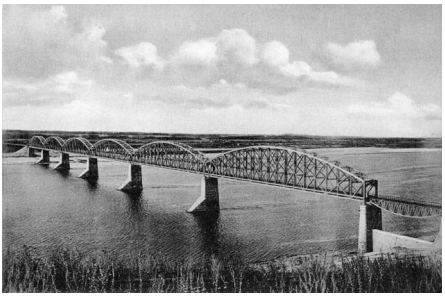


Рис. 4.19. Романовский железнодорожный мост, 1913 год постройки [26]

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 м^2. 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 [93].

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.

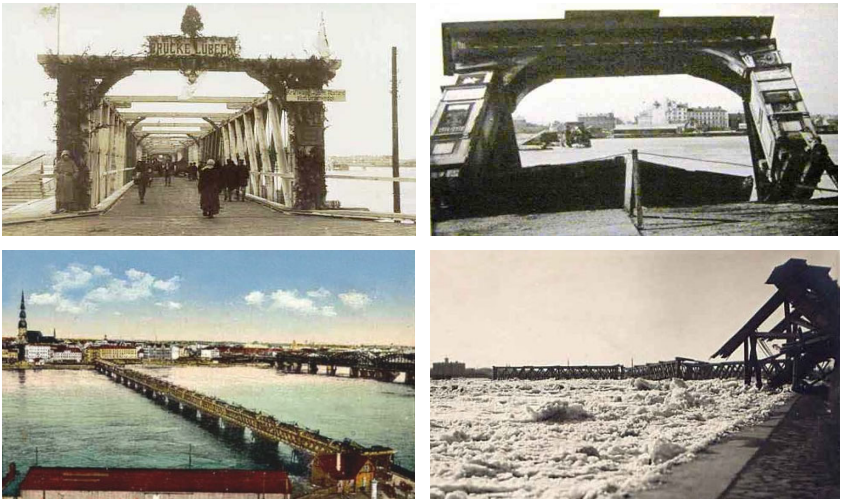


Рис. 4.20. Любекский мост через р. Даугаву в Риге до и после разрушения 05.04.1924 г.

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.

Рис. 4.21. 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 [94; 95].

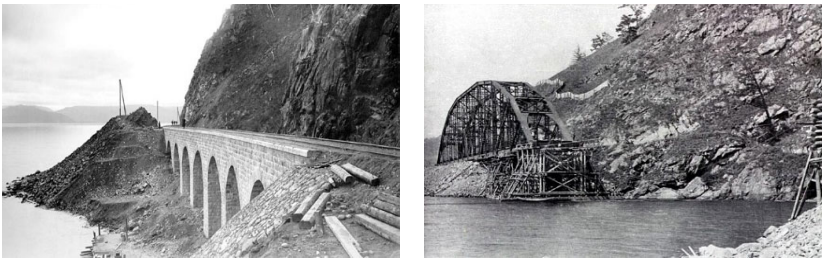


Рис. 4.22. Строительство мостов на КБЖД

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 [23].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 защемления 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% [61]. 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 пригруза грунта основания массой подходных 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.

Рис. 4.23. Автодорожный 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&stype=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 [96]. 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.

Рис.4.24. Деревянный Большой Петровский мост р. Малая Невка, г. Санкт-Петербург, существовавший до 2010 года [96]

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 км^2, 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 катастрофичные разрушения около 70 тысяч различных инженерных сооружений. Экономический ущерб составил более 147 миллиардов долларов США. Были повреждены в нескольких местах путепроводы скоростной автострады Хансин, протяженностью несколько десятков километров.

Рис. 4.25. Катастрофичные разрушения путепроводов скоростной трассы Хансин, 17.01.1995 г.

Источник: https://yandex.ru/images/search?text=Рис.%20Катастрофичные%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 информагентств мост был построен более ста лет назад.

Рис.4.26. 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 Тамилад. 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.

Рис. 4.27. 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.

Рис. 4.28. 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»].

Рис. 4.29. 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. 4.30). 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.

Рис. 4.30. 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.

Рис. 4.31. 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.

Рис. 4.32. 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 поврежден автодорожный мост на севере японского острова Хонсю в результате землетрясения магнитудой 7,2 по шкале Рихтера, эпицентр которого находился в районе префектуры Ивате.

Рис. 4.33. 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.

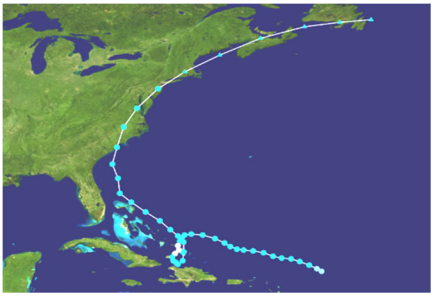


Рис. 4.34. Траектория движения Урагана Ханна

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 [97].

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 м^3 железобетонных изделий и 238 м^3 скального грунта) и расчистке завалов топляка под конструкциями моста, аварии удалось избежать.

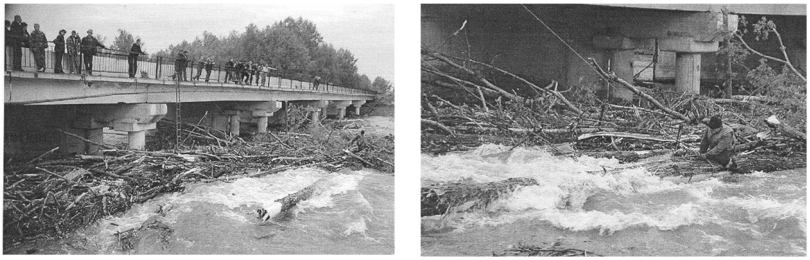


Рис. 4.35. Угроза разрушения моста
через р. Андриановка, июнь 2009 г.

Источник: http://www.milkovo.ru/2006/06/19/damby_i_mosty_milkovoskogo_rajjona_pod_ugrozojj_smyva.html

25 июля 2009 года произошло обрушение 100-метрового пролета моста через р. Миньцзань, 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.

Рис. 4.36. 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.

Рис. 4.37. 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.

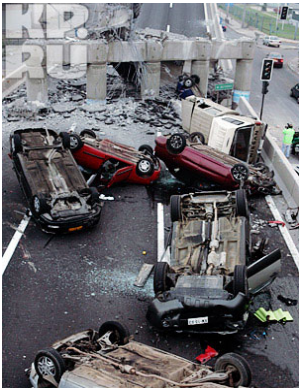


Рис. 4.38. Последствия землетрясения
в г. Сантьяго, Чили, 27.02.2010 г.

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 – Усть-каменогорск полностью разрушен мост через р. Кызылагаш, длиной 70 м.

Рис. 4.39. Мост через р. Майтобе на автомобильной дороге Сарыозек – Коктал

Источник: http://forum.bridgeart.ru

Рис. 4.40. 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 размыли 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.

Рис. 4.41. Обрушение переходных плит действующего автодорожного 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 автодорожному 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 автодорожного моста через р. Ушайка в г. Томске по ул. Балтийской.

Рис. 4.42. Разрушение промежуточной опоры автодорожного моста в г. Томске

Источник: http://forum.bridgeart.ru; http://bcrash.ru

3 июня 2010 года произошел подмыв устоя и обрушение пролетного строения автодорожного 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.

Рис. 4.43. Автодорожный 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 дорожного 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.

Рис. 4.44. 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 сильнейшие 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.

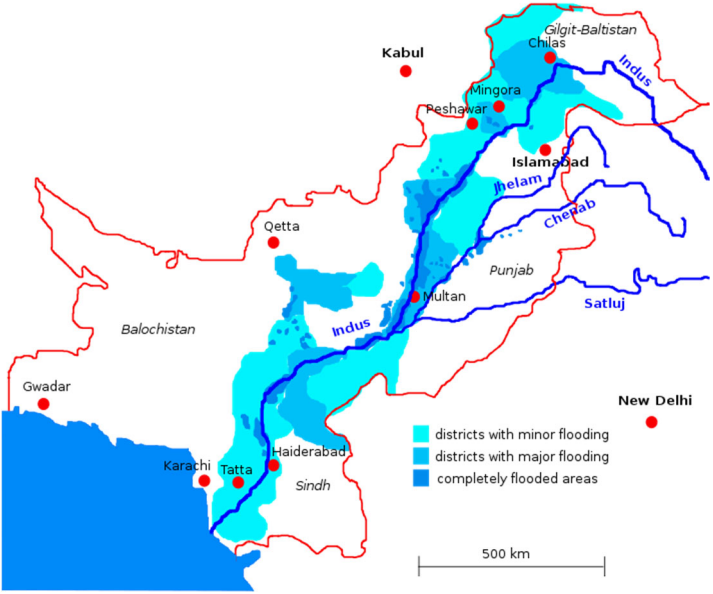


Рис. 4.45. Масштаб погодной аномалии в провинции Хайбер-Пахтунхва в Пакистане, июль 2010 года

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.

Рис. 4.46. Авария при реконструкции автодорожного 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.

Рис. 4.47. Обрушение пролетного строения железнодорожного моста через реку Абакан на перегоне станция «Камышта» – станция «Алюминиевая», Хакассия, 08.05.2011 г.

Источники: http://pda.nr2.ru/; http://www.vg-news.ru/

4.5. Аварии и разрушения автодорожных мостов во время паводка

Летом 2002 года юг России почти полностью оказался во власти стихии в результате ливней и наводнения. В 9 южных субъектах России результате наводнения было повреждено 214 автодорожных мостов и 732 км дорог с твердым покрытием. Пострадало около 110 тысяч человек. Ущерб только Федеральной дорожной сети составил 896 млн руб. На гораздо большую сумму тянут потери территориальной дорожной сети (по некоторым данным около 3,23 млрд руб.).

Каковы же причины происшедшего паводка, можно ли было уменьшить последствия стихии?

Летом уровень рек на Кавказе всегда повышается в связи с интенсивным таянием снегов или дождями. Но летом 2002 г. сошлись многие природные и человеческие факторы. Больше всех бед принесла река Кубань, когда-то самая зарегулированная водная артерия. В этот раз избыточная вода вместо того, чтобы пойти по каналам, пошла по руслу из-за практически полностью заброшенного (и разрушенного) гидромелиоративного хозяйства. Вовремя не был проведен сброс воды из водохранилищ, плохо сработала система раннего оповещения. Что касается большого количества разрушений на автодорожных мостах, то тут также не обошлось без ошибок и просчетов проектировщиков, строителей и эксплуатационников. Ниже приведены характерные примеры разрушений мостов на федеральных дорогах «КАВКАЗ», «Подъезд к г. Черкесску», «Лермонтов-Черкесск», на территориальных дорогах Ставропольского края, Кабардино-Балкарской Республики, а также в городах Кисловодск и Уруп. Обследованием этих мостов и восстановлением движения на них занимались сотрудники Волгоградского центра ГП «РосдорНИИ».

Действующий мост через реку Кубань вблизи г. Невинномысска. Отверстие моста перекрыто пятью разрезными балочными пролетными строениями. Береговые пролеты №1,5 – сборные железобетонные полной длиной 12.0м (расчетный пролет – 11.40м), изготовленные по типовому проекту серии 3.503-14 инв. №710/5. Русловые пролеты № 2,3,4 – сталежелезобетонные, полной длиной 33.0м (расчетный пролет – 32.40м). Во время паводка произошел подмыв устоя, что привело к обрушению берегового пролета и размыву подхода со стороны г. Ростова – на – Дону (см. рис. 4.48).

Рис. 4.48. Мост ч/р Кубань: слева – разрушение берегового пролета №1 и размыв подхода; справа – вид с проезжей части моста на подход со стороны г. Ростова-на-Дону

Недействующий (закрытый для движения) аварийный мост через реку Кубань.

Отверстие моста перекрыто тремя сборными, предварительно напряженными железобетонными разрезными балочными пролетными строениями. Схема моста 32.06х3 (расчетные пролеты). Балки всех пролетов диафрагменные, изготовленные по индивидуальному проекту. Мост построен в 1954 году, в 1993 г. он был закрыт для движения автотранспорта из-за аварийного состояния пролетных строений.

В момент прохождения паводка произошел размыв насыпи на сопряжении с мостом на участке около 20 метров от опоры №1 (см. рис. 4.49).

Рис. 4.49. Мост ч/р Кубань. Размыв насыпи на сопряжении со стороны г. Ростова-на-Дону

Для проверки возможности открытия движения по временной схеме по аварийному мосту были проведены испытания пролетных строений и устоя №1 (работающего после паводка как русловая опора). По результатам обследования и испытания отверстие моста было перекрыто средним армейским мостом (САРМ), состоящим из четырех пролетов по 32,5 м каждый. САРМ был установлен поверх существующих пролетных строений с опиранием на балки пролетных строений над опорами.

Мост через реку Большой Зеленчук на автомобильной дороге «Подъезд к г. Черкесску».

В результате паводка произошла равномерная просадка опоры №6. Просадка составила 47см (см. рис. 4.50). При просадке опоры произошел наклон балок пролетных строений и частичное нарушение поперечного объединения балок пролета №5. Были проведены испытания поврежденной опоры, по результатам которых был сделан вывод об опирании подошвы фундамента на прочные грунты. Для выправления продольного профиля было рекомендовано устройство дополнительных подферменников.

После выполнения ремонтных работ движение по мосту было восстановлено.

Рис. 4.50. Мост ч/р Большой Зеленчук. Общий вид моста с поврежденной опорой №6

Городской мост в г. Кисловодске.

При прохождении паводка произошел подмыв береговой опоры №1, что привело к обрушению берегового пролета, а также к деформации (развороту) опоры №2 и нарушению поперечного объединения балок пролета №2 (см. рис. 4.51).

Рис. 4.51. Городской мост в г. Кисловодске: слева – вид проезжей части упавшего берегового пролета; справа – вид сбоку на разрушенный устой и пролет №1

Мост через реку Уруп на автомобильной дороге «Медногорский – Уруп».

Здесь также произошел подмыв опоры № 6 и ее просадка на 1,8 м (см. рис. 4.52). Просадка опоры произошла с наклоном в верховую сторону на 15 см, что в свою очередь вызвало изменение высотно-планового положения балок пролетных строений №5 и 6.

Рис. 4.52. Мост ч/р Уруп. Общий вид полученных повреждений опоры №6 и смежных пролетов.

Несколько балок не опирались на опору №6, а висели в воздухе. На опоре № 5 балки пролетного строения №5 сместились с опорных частей, при этом произошел скол бетона консольной части ригеля в зоне опирания крайней балки с образованием единой сквозной трещины и разрывом арматуры хомутов. На опоре №7 пролетное строение №6

развернуло со смещением балок в низовую сторону на 15 см по отношению к пролету №7.

Было рекомендовано несколько вариантов восстановления движения автотранспорта: 1) строительство нового моста; 2) разборка поврежденных пролетных строений и устройство струенаправляющей подпорной стенки вдоль опоры №5 на буронабивных сваях; 3) возведение новой опоры на буронабивных сваях с устройством нового ригеля и заменой балок пролетных строений №5 и №6. Наиболее приемлемым оказался третий вариант.

Мост через реку Подкумок на а/д «Есссентуки – Ессентукская» (рис. 4.53).

а)

б)

Рис. 4.53. Мост ч/р Подкумок на а/д Ессентуки – Ессентукская: а) общий вид поврежденного моста; б) вид с проезжей части на размытый правобережный подход

Мост через реку Подкумок на а/д «Краснокумское – Шаумяна» (рис. 4.54).

Рис. 4.54. Мост ч/р Подкумок на а/д «Краснокумское – Шаумяна»: общий вид моста со смытым правобережным подходом и береговым пролетом

На рис. 5.53 и 4.54 показаны два однотипных моста через реку Подкумок. Обращает на себя внимание одинаковый характер разрушений: правобережный подход, устой и примыкающий береговой пролет полностью смыты паводком. Расчет морфоствора требует детального анализа, однако, можно сказать, что здесь был нарушен основной принцип проектирования: отверстие моста не должно быть меньше коренного русла реки. Преграждение даже части русла подходными насыпями привело к резкому нарушению руслового процесса и к опасному размыву дна реки у моста.

Обобщение последствий прошедшего паводка и их анализ позволяют сделать следующие выводы о причинах, приведших к серьезным разрушениям автодорожных мостов:

1. **Ошибки на стадии проведения проектно - изыскательских работ.** Так называемые «рационализаторские предложения» (в 70–80-е годы XX века) по снижению стоимости строительства объектов, привели к уменьшению рабочих отверстий мостов. Нередко длины мостов уменьшались на 1–2 пролета. В результате – подходы к мостам были размыты (в некоторых случаях размытые участки подходов достигали 60 м).

2. **Качество строительства мостов, особенно фундаментов опор**, в отдельных случаях не соответствовало проекту и нормативным документам. Отсутствие на тот период передовых технологий по сооружению опор, отсутствие надлежащего контроля качества работ со стороны заказчика и авторского надзора привели к тому, что на некоторых мостах опоры частично или полностью разрушились. Причинами

таких разрушений могли стать опирание подошвы фундаментов на слабые грунты (в случае кессонов или опускных колодцев) или недостаточное заглубление свайных фундаментов.

3. Во время эксплуатации мостов, в силу различных обстоятельств, **работы по содержанию искусственных сооружений выполнялись неудовлетворительно.** Периодичность осмотров мостов не соблюдалась. В эксплуатирующих организациях, как правило, отсутствовала проектная и исполнительная документация, что делало невозможным анализ изменения состояния как самих сооружений, так и характера изменения подмостового русла. Профилактические мероприятия по устранению выявленных повреждений не выполнялись.

Создание системы надзора, содержания и эффективного управления искусственными сооружениями на автомобильных дорогах, как на федеральном, так и на региональном уровне, является одной из актуальных задач и сегодняшнего дня.

ГЛАВА 5. АВАРИИ ОТ НАВАЛА СУДОВ И ДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

5.1. Аварии по причине навала судов на опоры мостов

Из мировой практики известно [98], что за период с 1960 по 1993 гг. произошло 29 крупных разрушений мостов в результате навала судов и барж, при этом в общей сложности погиб 321 человек. Причины столкновения судов с опорами мостов могут быть различными [19]: механические поломки судна и потеря управления; человеческий фактор; гидрометеорологические факторы; величина подмостового габарита судоходного пролета; туман и плохая видимость.

Мост через р. Северн в Англии был построен в 1879 г. и имел балочную систему, состоящую из 21-го пролета длиной от 40 до 94 м. Мост располагался в зоне приливно-отливных явлений. Три опоры, расположенные в главном русле, где предполагалось судоходство, имели защитные устройства в виде решетки из отбойных брусьев. В последующем в мелкой части русла увеличилась глубина, и в этот район довольно часто стали попадать суда, потерявшие управление. В результате возникали серьезные столкновения судов с опорами, что вызывало значительные повреждения опор и судов. Однако попыток для защиты моста не было предпринято. И в 1960 г. в результате навала на опору двух барж произошло обрушение опоры и двух пролетных строений. Стоимость ремонта составила 250 тыс. фунтов стерлингов [99].

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

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

Мост Sidney Lanier через р. Brunswick (шт. Джорджия, США) был построен в 1957 г. Мост имел четыре пролета. Длина центрального (судоходного) подъемного пролета составляла 250 футов (76,2 м), остальные пролеты имели длину по 150 футов (45,7 м). В 1972 г. одно из судов попало в несудоходный пролет и столкнулось с опорой. В результате три пролета обрушились, 10 человек погибло. Общая стоимость восстановления составила 1,3 млн. долл. США, а время, потраченное на восстановление, – 6 месяцев [19].

По данным работы [98], только за период с 1970 по 1974 гг. на внутренних водных путях США зарегистрировано 811 случаев навала судов на мостовые сооружения. Не все они привели к обрушению конструкций, тем не менее, общий ущерб составил 23 млн. долл. США.

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

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

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

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

Рис. 5.1. Альмёнский мост в Швеции

Источник: http://ru.wikipedia.org; http://www.youtube.com

9 мая 1980 г. в результате столкновения сухогруза дедвейтом 35 тыс. т с мостом Sunshine Skyway через залив Tampa (шт. Флорида, США) было разрушено 396 м главного пролета. В результате обрушения, проезжавшие

в это время по мосту 6 автомобилей и автобус рухнули в воду со 150 футовой высоты. Эта авария унесла жизни 35 человек. Стоимость ремонта составила около 30 млн. долл. США, а судна – 1 млн долл. США [19].

Рис. 5.2. Авария моста Sunshine Skyway (США), 09.05.1980 г. [19]

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

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

Пролет Ульяновского моста после катастрофы 5 июня 1983 г.

Общий вид Ульяновского моста

Повреждения теплохода «Александр Суворов» в результате катастрофы

Рис. 5.3. Результаты столкновения теплохода с Ульяновским мостом

Источник: https://yandex.ru/images/search?text=столкновение%20теплохода%20с%20мостом%20в%20ульяновске&stype=image&lr=194&noreask=1&source=wiz

Одна из крупных аварий с тяжелыми экологическими последствиями произошла при столкновении полнозагруженного танкера с опорой моста «Million Dollar» через р. Fore в г. Портленде (США). Баржа ударила в защитную (фендерную) систему опоры и разрушила ее, при этом баржа получила пробоину, и в реку вылилось 170 тыс. гал. нефтяного топлива. Данных об ущербе от этой аварии нет, но для сопоставления известно, что при аварии танкера Exxon Valdez у берегов Аляски в 1989 г. разлилось 11 млн гал. нефти и ущерб превысил 3,5 млрд долл. США [98].

22 сентября 1993 года из-за сильного тумана буксир-толкач «Мовилла» сбился с курса и попал в несудоходный пролет железнодорожного моста через Биг Баю Канот (англ. Big Bayou Canot) у г. Мобил в штате Алабама, США. Big Bayou Canot – болотистый несудоходный приток реки Мобил. Буксир «Мовилла» вначале совершил столкновение с опорой, пытаясь пришвартоваться, а через несколько секунд – с центральным пролетом моста. После этих столкновений обрушение моста не произошло, но ферма моста сместилась на метр в сторону по часовой стрелке. Выяснилось, что первоначально более 84 лет назад мост планировалось сделать разводным, но поворотный механизм не доделали – в итоге ферма крепилась к опоре только силой трения. В результате происшествия система переключения семафора на красный цвет не сработала, так

как рельсовые цепи не были нарушены (произошел только изгиб рельсов). Спустя 8…10 минут трансконтинентальный поезд «Сансет Лимитед» с 220 пассажирами на скорости 116 км/ч врезается в деформированную ферму моста, тем самым, сталкивая центральный пролет моста в воду. В катастрофе погибли 47 и были ранены 103 человека [19].

Рис. 5.4. Катастрофа на железнодорожном мосту через Big Bayou Canot у г. Мобил в штате Алабама, США, 22.09.1993 г.

Источник: http://ru.wikipedia.org

В январе 1998 г. на северо-востоке Испании в результате навала плавучей нефтяной платформы был разрушен мост через Ферольский лиман. Этот мостовой переход, построенный в 1968 г., имеет длину 2,2 км, включая подходы. Мост был выполнен по схеме 11×32 м с пролетными строениями из предварительно напряженного железобетона. Подмостовой габарит составлял 11 м, глубина воды – 22 м. При навале платформы было разрушено пять опор. Ущерб был оценен в 5 млн долл. США [100].

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

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

Мост на р. Арканзас в штате Оклахома (США). В мае 2002 года во время половодья на реке Арканзас в штате Оклахома судно-буксир,

транспортировавшее две порожних нефтяных баржи, потеряло управление из-за сильной грозы над рекой. В результате баржи врезались в опору моста, построенного 20 лет назад, длина моста 400 м. Это повлекло обрушение его двух его секций [19].

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

Рис. 5.5. Столкновение сухогруза с литейным мостом

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

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

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

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

– 17 мая 2005 года танкер «Волгонефть» навалился на мост, ущерб оценен в 3 млн 464 тыс. рублей;

– 19 мая 2005 года – лесовоз «Енисей» столкнулся с мостом Александра Невского (сухогруз сел на основание опоры моста, после чего его развернуло сильным течением поперек фарватера), ущерб около 3 млн рублей;

– 1 июня 2005 года «Волгодон 99» навалился на опору Троицкого моста, сумма ущерба превысила 2 тыс. 500 рублей;

– 30 июля 2005 года памятное происшествие с танкером «Иркутск ГЭС», ущерб – 3 млн 71 тыс. рублей;

– 30 июля 2005 года «Невский 22» наехал на разводную часть Тучкова моста, ущерб свыше 3 миллионов руб.;

– 11 августа 2005 года маломерное судно ударило в опору Дворцового моста.

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

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

Рис. 5.6. Обрушение автодорожного моста через р. Сицзян в провинции Гуандун на юге Китая, 15.06.2007 г.

Источник: http://www.vesti.ru

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

Рис. 5.7. Навал судна «Cosco Busan» на фендер опоры автодорожного моста Bay Bridge, 7 ноября 2007 г.

Источник: http://www.containerships.narod.ru

В ноябре 2007 года в г. Бресте (Республика Беларусь) произошло разрушение стойки опоры автодорожного моста через реку Мухавец в

результате навала баржи [101]. До проведения ремонтных работ по усилению поврежденной опоры было закрыто движение пешеходов по тротуару и ограничено движение автотранспорта по мосту.

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

4 июля 2009 года во время буксировки плавучего крана из акватории Волги в её приток реку Кинешемку произошло столкновение с Никольским автодорожным мостом (г. Кинешма Ивановской области). По конструктивному решению мост выполнен в виде арочной фермы с затяжкой, однопролетный, с ездой посередине. В результате аварии были деформированы балки моста и смещены железобетонные плиты тротуара, порваны кабели связи и других коммуникаций, движение транспорта по нему было закрыто. Вероятной причиной столкновения стало то, что кран перед транспортировкой не был приведен в походное состояние, в итоге стрела крана врезалась в мост. После детального обследования специалисты пришли к заключению, что мост может эксплуатироваться с ограничением грузоподъемности – не более 11 тонн. Оценочная стоимость работ по устранению повреждений может составить более 722 тыс. рублей.

Рис.5.8. Никольский автодорожный мост
через р. Кинешемку в г. Кинешма

Источник: http://ivoblast.ru

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

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

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

Рис.5.9. Володарский мост в акватории р. Невы, г. Санкт-Петербург

Источник: http://www.spb.aif.ru

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

Рис. 5.10. Обрушение пролетного строения автодорожного моста в поселке Циньнань провинции Цзянсу в Китае, 25.12.2010 г.

Источник: http://www.epochtime.com.ua/ru

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

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

19 сентября 1941 года мост имени Евгении Рош через р. Днепр в Киеве был уничтожен советскими войсками при отступлении [102]. Мост был построен в 1925 году. По конструктивному решению – висячий с балкой жесткости, шестипролетный, общей длиной 776 м, с основным пролетом 143 м, шириной 16 м. После разрушения мост не восстанавливался, опоры моста сохранились до середины 1950-х годов, некоторое время они использовались для линии электропередачи.

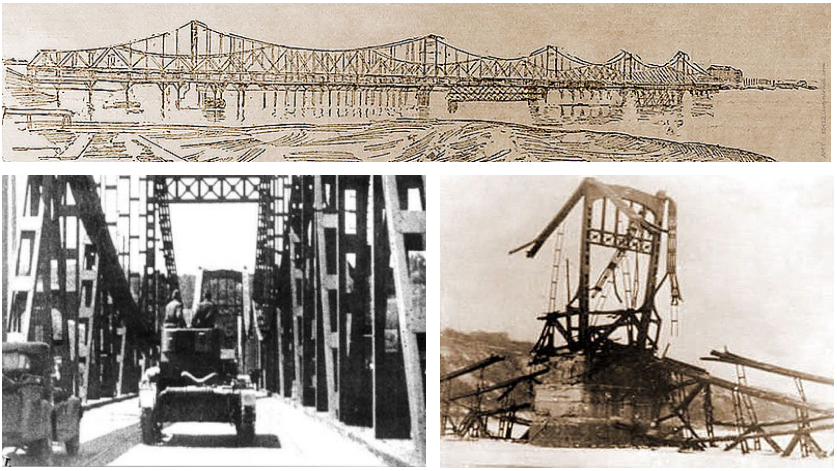


Рис. 5.11. Мост имени Евгении Рош через р. Днепр в Киеве [23]

17 марта 1945 года произошло обрушение Ремагенского моста в Германии через р. Рейн. Мост рухнул во время реконструкции, проводимой после неудачного подрыва моста отступающими войсками. Погибло 28 военнослужащих инженерных войск армии США, и ещё 93 получили травмы различной тяжести [103].

Рис. 5.12. Обрушение Ремагенского моста в Германии через р. Рейн, 17.03.1945 г.

Источник: http://www.engineeringcivil.com

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

В июне 1998 года скоростной поезд, следовавший из Мюнхена в Гамбург, сошел с рельсов и врезался в опору виадука. Железобетонное пролетное строение обрушилось на вагоны. Катастрофа произошла близ города Эшеде (федеральная земля Нижняя Саксония). Водитель легкового автомобиля, ехавшего по виадуку над железнодорожными путями, не справился с управлением, машина пробила заграждение и упала на рельсы. Двигавшийся поезд «Вильгельм Конрад Рентген» со скоростью 200 км в час врезался в автомобиль, сошел с рельсов и врезался в опору виадука. Виадук обрушился, его обломки завалили 3 из 13 вагонов поезда. Погибли 92 человека, ранено более 200 человек.

В 2006 году произошла авария на теплотрассе, проложенной под крайними балками пролетного строения автодорожного путепровода по ул. Молодежной в г. Новополоцке Республики Беларусь [101]. В результате происшествия сооружение получило следующие повреждения: размыв конуса опоры, обрушение крайней переходной плиты под тротуаром, разрушение тротуаров на сопряжении путепровода с подходом, нарушение целостности кабелей коммунального назначения, проложенных под тротуаром. По счастливой случайности пешеходы и автотранспорт не пострадали.

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

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

Рис. 5.13. Мост Аль-Сарафия через р. Тигр в г. Багдаде после разрушения 12.04.2007 г.

Источник: http://ru.wikipedia.org

29 апреля 2007 года произошло обрушение путепровода вблизи г. Сан-Франциско (США, шт. Калифорния). Обрушение произошло рано утром, когда бензовоз, везший 32 м^3 бензина, потерпел аварию на MacArthur Maze – подъезде к путепроводу Сан-Франциско – Окленд-Бэй. Последовало возгорание, при этом температура пламени достигала 1650^{0}С. В результате мостовой переход I-580 обрушился на проходящую под ним междуштатную магистраль.

Рис. 5.14. Обрушение путепровода вблизи г. Сан-Франциско (США, штат Калифорния), 29.04.2007 г.

Источник: http://www.nestor.minsk.by

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

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

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

Рис. 5.15. Авария на путепроводе через междуштатную магистраль Interstate 75 в г. Детройт, США, 15.07.2009 г.

Источник: http://www.cardriver.ru

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

Рис. 5.16. Вблизи моста Понятовского через р. Висла в г. Варшаве

Источник: http://www.vesti.ru

В работе А.С. Платонова [22] приведено описание аварии на четырехпролетном автодорожном мосту по схеме 16,76+32,91x2+16,76 м (габарит Г7+2x1,0). Мост сталежелезобетонный, по краю проезжей части вдоль тротуаров были уложены нефтепродуктопроводы. При наезде подвижной нагрузки на нефтепродуктопроводы и их повреждении на мосту возник пожар, продолжавшийся около двух часов. В результате полностью вышли из строя конструкции мостового полотна, частично был обезвожен защитный слой железобетонных балок и ригелей опор. Один из пролетов 32,91 м рухнул из-за значительных пластических деформаций металла стальных главных балок из проката марки 15ХСНД по ГОСТ 6713-75, а на другом сталежелезобетонном пролетном строении возникли значительные деформации стенок в виде хлопунов, превосходящие допустимые в 1,7–2,0 раза. Хрупкие разрушения в конструкциях не обнаружены, но пластические деформации были весьма значительные. Анализ показал, что конструкции моста были подвержены термическому воздействию с температурой более 600^0С. Катастрофические последствия обусловлены нагревом металла выше температуры рекристаллизации ($300–450^0$С), что привело к снижению предела текучести – в этом случае потеря устойчивости стенок и сильная деформация поясов главных балок была неизбежна.

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

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

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

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

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

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

Рис. 5.17. Мост Рэйнбоу (Китай), 04.01.1999 г.

Источник: http://amigo.hiblogger.net/2327.html

7 ноября 2005 года во второй половине дня около г. Альмуньеккар близ Гренады (Испания) на рабочих обрушился пролет строящегося автодорожного виадука, высотой 80 метров. По уточненным данным, в момент обрушения на пролете виадука и под ним находились от 20 до 40 человек. Погибли, по меньшей мере, семь человек. Обрушившийся пролет виадука является частью строящейся Средиземноморской национальной автострады, которая будет проходить по югу Испании, её начали строить в 2002 году. Он достигал 60 м в длину и 12 м в ширину. Конструкция обрушилась из-за дефектов в опорах конструкции и свайном фундаменте. Комментируя произошедшую трагедию, испанские СМИ напоминали, что в октябре 2004 года в металлоконструкциях для виадука использовалась сталь из Турции. Тогда в этом материале были обнаружены серьезные дефекты. В результате этого министерство промышленности Испании было вынуждено временно прекратить работы.

Рис. 5.18. Обрушение пролета строящейся шоссейной эстакады около г. Альмуньеккар близ Гренады (Испания)

Источник: http://www.novdelo.ru

ГЛАВА 6. ТАНЦУЮЩИЙ МОСТ В ВОЛГОГРАДЕ: ПРИЧИНЫ, АНАЛОГИИ, МЕРОПРИЯТИЯ

6.1. Колебания Волгоградского моста

Колебания моста через реку Волга в Волгограде видела вся страна. Специалисты всего мира заинтересовались этой проблемой. Напомним, что в четверг, 20 мая 2010 года вечером русловые пролеты балочного моста через Волгу в Волгограде начали испытывать колебания с амплитудой до 40 см, которые затрудняли и даже делали невозможным движение по мосту (рис. 6.1, 6.2, 6.3). Волнообразные колебания происходили только в судоходных пролётах моста длиной 155 м, имеющих малую относительную жёсткость, в более коротких же пролётах таких явлений не наблюдалось. Вследствие этого движение по мосту было закрыто и к исследованию явления подключились специалисты по проектированию и строительству мостовых сооружений.

По предварительным данным, имеющийся мировой опыт мостостроения свидетельствовал о том, что балочные мосты обычно не испытывали таких колебаний.

Поэтому в различных журнальных публикациях, а также в Интернете стали появляться различные версии события с анализом возможных причин его наступления.

Так как в свое время одному из авторов данной статьи пришлось давать интервью различным телеканалам, журналам и газетам с изложением своей версии происшедшего и доказывать, что в силу сложившейся в нашей стране системе анализа проектной документации перед началом финансирования строительства объектов, эти объекты проектировались в строгом соответствии с действующей на момент проектирования нормативной документацией. Все разработанные проекты проходили государственную экспертизу, направленную на проверку правильности выполнения проектов в соответствии с действующими нормативными документами. И только после одобрения проекта экспертизой могло быть открыто финансирование и начато строительство объекта. Процесс сооружения такого сложного объекта также достаточно жестко регламентирован, ибо он также проводится на основе разработанного проекта производства работ, а процесс создания сооружения постоянно контролируется различными службами (авторский надзор, мостовая инспекция).

Рис. 6.1. Вид на проезжую часть танцующего моста с правого берега

Источник: http://forum.sirius.dn.ua/nauka-i-zhizn/anomaliya-na-volghoghradskom-mostu-644.0.html

И потому допустить, что проектирование такого сложного сооружения, как мост через Волгу, выполнялось с отклонениями от нормативной документации, а реализация проекта проводилась с отклонениями от проектных решений, мог только человек, не знающий особенности разработки и проверки проектной документации в России. Специалистам в данной сфере с самого начала было ясно, что имеет место не предусмотренная в нормативной документации ситуация.

К сожалению, возглавлявший в то время Счетную Палату РФ доктор юридических наук Степашин С.В., не имея технических знаний в обсуждаемой сфере, имел неосторожность заявить, что мостовики неправильно запроектировали и построили Волгоградский мост и потому все они должны понести какое-то наказание. Время все расставило по своим местам. Оказалось, что мостовики не виноваты в случившемся, и им надо сказать большое спасибо за то, что они построили мост, который оказался в состоянии выдержать такое непроектное воздействие. Опять-таки, к сожалению, что-то не позволило С.В. Степашину принести извинения мостовикам за допущенную бестактность, если не сказать больше.

Рис. 6.2. Вид на мост с верховой стороны

Источник: http://forum.sirius.dn.ua/nauka-i-zhizn/anomaliya-na-volghoghradskom-mostu-644.0.html

Рис. 6.3. Вид на мост с низовой стороны

Источник: http://forum.sirius.dn.ua/nauka-i-zhizn/anomaliya-na-volghoghradskom-mostu-644.0.html

Мы полагаем, что в настоящее время можно попытаться провести некоторый предварительный анализ ситуации с танцующим мостом и проанализировать возможные причины и способы предотвращения имеющей место ситуации.

6.2. Общие сведения о мосте

Прежде, чем анализировать возможные причины такого поведения мостового сооружения, рассмотрим его размещение и конструкцию [104].

Генеральный проектировщик моста - ОАО «Гипротрансмост», генеральный подрядчик – ОАО «Волгомост» На рисунке 6.4 приведена схема транспортного узла, включающего мостовой переход. Как видно, русловая часть моста располагается практически перпендикулярно руслу реки Волга.

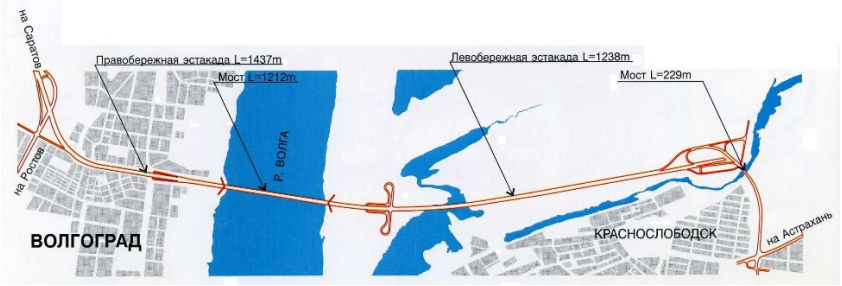


Рис. 6.4. Транспортный узел с мостовым переходом через р. Волгу у г. Волгограда [104]

В районе расположения моста преобладающими являются ветры восточного и северо-восточного направлений. Среднегодовая скорость ветра составляет 4,2–5,0 м/с. Наибольшие скорости ветра наблюдаются в холодный период. Максимальная наблюдаемая скорость ветра равна 25 м/с, наибольшая скорость ветра, возможная один раз в 5 лет, равна 31 м/с, в 10 лет – 33 м/с, в 15 лет – 35 м/с.

Участок трассы мостового перехода характеризуется наличием двух тектонических нарушений. По инженерно-геологическому разрезу на створе они располагаются у основания правобережного склона и у левого берега р. Волги. Амплитуды этих сбросов не превышают 4 и 9 м. Согласно действующим нормам, большие мосты, как правило, следует располагать вне зон тектонических разломов, на участках речных долин с устойчивыми склонами. Это требование должно соблюдаться при проектировании мостовых сооружений только в районах сейсмичностью более 7 баллов. В историческом плане район г. Волгограда характеризуется спокойной сейсмотектонической обстановкой, где никогда не регистрировались сильные землетрясения. Поблизости с территорией строительства мостового перехода расположены уже построенные и эксплуатируемые здания и сооружения, такие как плотина Волгоградской ГЭС, Мамаев курган, дома повышенной этажности, промышленные здания и др., при проектировании которых сейсмичность не учитывалась.

Научно-технический центр (НТЦ) «Мосты» Научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) провел

фондовое и научно-исследовательские обследования. В материалах ЦНИИС «Уточнение сейсмотектонической обстановки и сейсмическое микрорайонирование участка строительства городского моста через р. Волгу в г. Волгограде», сделаны следующие выводы: в непосредственной близости от мостового перехода могут происходить толчки с максимальной магнитудой 4,0–4,1; интервал времени между сейсмическими воздействиями наибольшей силы измеряется несколькими тысячами лет. Приведенные ЦНИИС данные также соответствуют карте «В» сейсмического районирования, так как указанная магнитуда соответствует 6 баллам по шкале MSK-64, а вероятность превышения сейсмической интенсивности составляет 5%.

Отверстие моста через русло р. Волги назначено не только на основании гидрологических, гидравлических и морфометрических характеристик, но и с учетом сложившейся экологии и ситуации на прилегающем участке левого берега. При ширине русла 1080 м отверстие моста принято равным 2500 м с перекрытием акватории у затона.

Мост через русло запроектирован по схеме 2×86,6+3×126,0+3×155,0+126,0+69,0 м, общей длиной 1213,4 м (рис. 6.5). Мост расположен на прямой в плане и на уклоне в 0,0096.

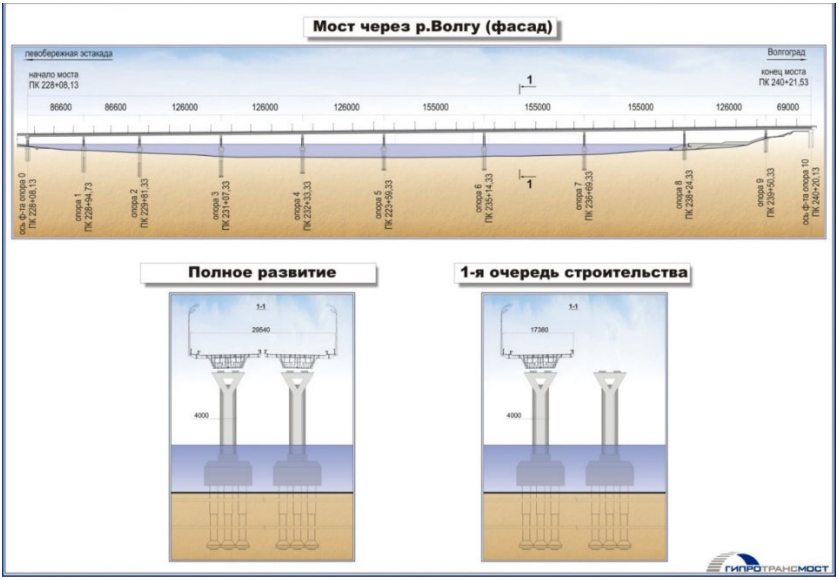


Рис 6.5. Продольный и поперечный профили моста через Волгу в Волгограде [104]

Мост запроектирован на раздельных фундаментах с ростверками, расположенными выше рабочего уровня. Это решение позволило избежать традиционных шпунтовых ограждений, что очень сложно

устраивать на реке с большими глубинами. Ростверк запроектирован на четырех сваях комбинированной конструкции: в нижней части диаметром 1,7 м, в верхней – диаметром 2,02 м с оставляемой защитной металлической оболочкой. В местах, где встречены породы более низкой прочности, устроены уширения до 3,5 м. В зоне переменного уровня воды ниже ростверка устраивается льдозащитная оболочка, прикрывающая обнажение свай при низких отметках. Выше обреза фундамента опоры запроектированы в виде монолитных стоек, верхняя часть которых уширяется до размеров, необходимых для осуществления продольной надвижки, при этом наклонные грани опор по архитектурным соображениям повторяют наклон стенок коробчатых пролетных строений.

Пролетные строения моста – металлические, балочно-неразрезные по всей длине, состоят из двух коробчатых балок с нижними и верхними ортотропными плитами. Из-за большой ширины и по архитектурным соображениям стенки пролетного строения запроектированы наклонными без ребер жесткости по фасаду (рис. 6.6).

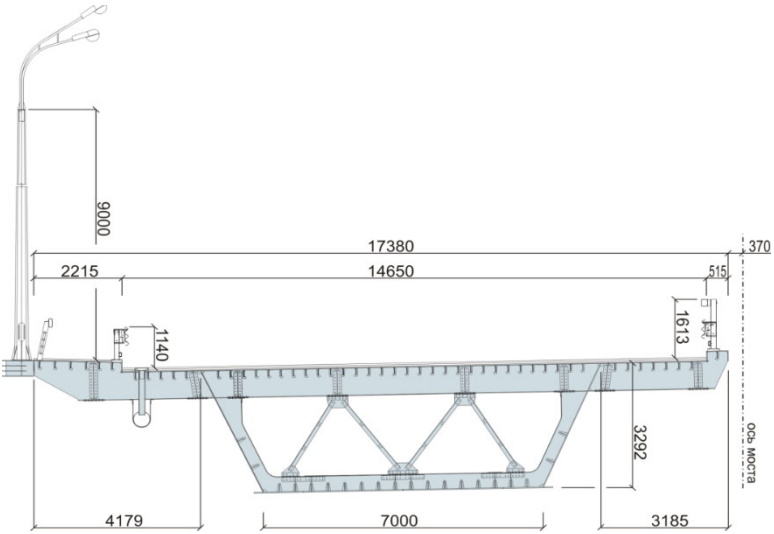


Рис.6. 6. Поперечное сечение пролетного строения моста [104]

Монтаж пролетных строений осуществлялся методом конвейерно-тыловой сборки с последующей продольной надвижкой (рис. 6.7). Используемый для продольной надвижки нижний шпренгель оригинальной конструкции позволил перекрывать пролеты 155 м без вспомогательных опор, что не затрудняло условия судоходства, повышало безопасность монтажа при экономии средств и сокращении сроков строительства.

Пролетные строения установлены на опорные части сферического типа, имеют деформационные швы модульного типа с раскрытием 640 и 720 мм. Учитывая особенности расположения пролетных строений, антикоррозийное покрытие запроектировано из лакокрасочных материалов фирмы «Steelpaint» со сроком службы не менее 15 лет.

По рекомендуемому варианту мостового перехода были реализованы следующие прогрессивные строительные конструкции, решения и методы организации строительства, отвечающие передовому опыту эксплуатации и строительства:

Рис. 6.7. Опоры моста через р. Волгу в г. Волгограде. Монтаж пролетного строения. I очередь строительства [104]

– для сооружения фундаментов опор мостов и эстакад в сложных геологических и гидрологических условиях применены комбинированные буронабивные сваи глубокого заложения, выполненные агрегатами «Като» и «Бауэр»;

– ростверки опор моста через р. Волгу при больших глубинах реки сооружены выше рабочего уровня воды без обычно применяемых металлических шпунтовых ограждений;

– на правобережной и части левобережной эстакад запроектированы безростверковые и безригельные опоры, что помимо экономии собственно на опорах, позволило при «точечном» опирании сохранить существующие коммуникации на правом берегу;

– опоры мостов и эстакад выше обрезов фундаментов запроектированы стоечного типа, монолитными, сооружаемыми в переставной металлической опалубке;

– пролетные строения мостов и эстакад запроектированы неразрезными и температурно-неразрезными с минимальным количеством деформационных швов;

– конструкция металлических пролетных строений моста через р. Волгу запроектирована из сталей повышенной прочности, коробчатого сечения с наклонными стенками, и состоящей из верхних и нижних ортотропных плит и L-образных элементов главных балок;

– конструкция пролетных строений правобережной эстакады состоит из коробчатых пролетных строений с металлической нижней частью с наклонными стенками и верхней железобетонной плитой проезжей части, объединяемых штыревыми выпусками, привариваемыми по специальной технологии;

– монолитная железобетонная плита пролетного строения эстакад сооружалась в передвигаемой по металлической части оснастке;

– опорные части моста и эстакад запроектированы сферического (шарового) типа;

– деформационные швы запроектированы модульными, водонепроницаемыми, обеспечивающими бесшумность и комфортность движения;

– проезжая часть сооружалась с применением полимербитумных вяжущих, что повышает ее долговечность, обеспечивает хорошее объединение с деформационными швами, элементами ограждения и водоотводными устройствами; повышает безопасность движения в связи с увеличением сцепления и снижением образования гололеда;

– для безопасности движения применены барьерные ограждения проезжей части повышенной сопротивляемости к возможной энергии удара;

– антикоррозионные покрытия металлических пролетных строений в условиях агрессивной среды предусмотрены из наиболее технологичных и долговечных лакокрасочных материалов;

– для сооружения фундаментов опор моста использован специальный конструктивно-технологический комплекс с применением инвентарной платформы ПМК-67м на жестком основании с использованием понтонов морского причала;

– пролетные строения собирались из укрупненных сварных блоков заводского изготовления;

– монтаж пролетного строения моста через р. Волгу производился методом продольной надвижки с устройством аванбека и специального шпренгельного устройства, что позволило вести надвижку без промежуточных опор даже в судоходных пролетах до 155 м;

– сооружение насыпей левобережного подхода принято с использованием гидромеханизации.

Общий вид мостового сооружения первой очереди показан на рисунке 6.8.

Рис. 6.8. Вид на русловую часть моста с высоты птичьего полета [104]

К сожалению, финансовые условия не позволили завершить строительство моста полностью, и в 2009 году была введена в строй только первая очередь русловой части моста через Волгу [105], хотя опоры под вторую очередь были построены. Однако никаких работ по обеспечению сохранности опор под вторую очередь на период до продолжения строительства не было проведено, и довольно неэстетично смотрится мост, у которого опоры под пролетными строениями первой очереди окрашены, а одновременно построенные опоры под вторую очередь, стоящие без пролетных строений, не окрашены и потому подвергаются более интенсивному процессу деструкции.

6.3. Возможные причины непроектного поведения моста

После происшедшего инцидента с танцующим мостом в Волгограде начали появляться публикации, посвященные анализу этого явления и поиску возможных причин его появления.

6.3.1. В первом номере Вестника мостостроения за 2011 год [106] появилась статья тогдашнего главного инженера ОАО «Волгомост» (организации, подразделения которой строили Волгоградский мост) С.К. Пшеничникова, в которой анализировалось поведение моста, и формулировалась причина такого его поведения.

В частности, в статье отмечалось, что после непроектного поведения моста по распоряжению Администрации Волгоградской области движение по мосту было полностью закрыто, и была сформирована специальная комиссия для расследования причин такого поведения моста. Членами комиссии было сделано следующее: был проведен визуальный осмотр металлических пролетных строений, дорожной одежды, деформационных швов, опорных частей; была выполнена инструментальная съемка продольного профиля моста по его проезжей

части; было проведено ультразвуковое диагностирование сварных швов неразрезных пролетных строений; было проведено подводное обследование русловых опор. Также было проведено статическое испытание трех неразрезных пролетов (каждый длиной 155 метров) путем загружения их нагрузкой и замеров прогибов. Предварительный вывод о причине колебаний моста сводился к тому, что это «ветровой резонанс».

Так как амплитуда прогибов моста во время колебаний достигала величины порядка 350 мм, а допустимый прогиб пролетного строения по нормам составляет 1/400 от длины пролета, то есть 155/400 = 0,387 м = 387 мм, то пролетное строение деформировалось в пределах допустимых значений и потому его конструктивные элементы не получили повреждений. Мало того, повреждений не было обнаружено ни в покрытии ездового полотна, ни в лакокрасочном покрытии колебавшихся пролетных строений. После колебаний пролетные строения оказались в проектном положении на опорных частях.

С целью более детального исследования возможных причин непроектного поведения моста организацией, которая проектировала мост (ОАО «Гипротрансмост») совместно с ЗАО «Гипростроймост Санкт-Петербург» и ФГУП ЦАГИ имени Н.Е. Жуковского с привлечением ряда других организаций были проведены дополнительные работы:

– исследование поведения модели отсека пролетного строения при продувке в аэродинамической трубе ЦАГИ;

– компьютерное моделирование поведения отсека пролетного строения в датской фирме COWI имеющей огромный опыт проведения таких исследований.

Результаты и модельного эксперимента и компьютерного моделирования подтвердили версию о « ветровом резонансе» как о причине непроектного поведения неразрезных пролетных строений.

В этой же статье отмечается, что из зарубежного опыта исследования поведения пролетных строений известно, что подверженность пролетных строений ветровому резонансу зависит от количества коробчатых балок в пролетном строении, то есть пролетные строения с однокоробчатыми балками становились аэродинамически неустойчивыми при меньшей скорости ветра, чем двухкоробчатые пролетные строения. Автор статьи подводит к выводу, что если бы при строительстве моста были сооружены обе плети пролетного строения (верховая, которая колебалась) и низовая, которая до сих пор не достроена (смотри рис.5 внизу), то изменилась бы схема обтекания пролетного строения ветровым потоком и ветрового резонанса возможно и не было бы.

6.3.2. Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н.Е. Жуковского (ЦАГИ) проводит испытания моделей автодорожных мостов на аэроупругую устойчивость по заказам мостовиков. За-

меститель начальника НИО-19 ЦАГИ Константин Стрелков так высказался о поведении Волгоградского моста [107]: «Эти колебания можно было предсказать, но существующие СНиПы не требовали испытывать балочные мосты в аэродинамической трубе. В механике есть такое понятие, как резонанс. Каждая конструкция, имеющая некоторую жесткость и массу, способна совершать колебания с деформацией ее формы. Эти колебания происходят при так называемых собственных частотах, зависящих от геометрии конструкции, величин и распределения по конструкции массы и жесткости. При внешнем динамическом воздействии конструкция охотно откликается, когда частота воздействия и частота собственная совпадают, в итоге возникает явление резонанса. Вихри, всегда возникающие при обтекании ветром мостового пролета, содержат составляющие с разными частотами и разной интенсивности. При определенной скорости, называемой критической скоростью ветрового резонанса, среди этих вихрей создается один с достаточно большой мощностью воздействия, попадающий в резонанс с собственной частотой объекта, и возникает явление, которое мы могли наблюдать на «танцующем» волгоградском мосту. Когда произошли колебания моста в Волгограде, мы ознакомились с его характеристиками, и сразу стало понятно, что произошло. Эти колебания можно было предсказать, но существующие СНиПы не предусматривали обязательного экспериментального исследования аэроупругой устойчивости балочных мостов. Для вантовых, висячих мостов, было предписано проведение испытаний в аэродинамической трубе, чтобы проверить расчеты на устойчивость. Для балочных мостов этого не было. Но до сих пор ни на одном балочном мосту таких колебаний не возникало. Есть ведь инерция в мышлении, и, чтобы произошли изменения, должно случиться что-то выходящее из ряда. Важен факт прецедента».

6.3.3. В 2011 году появилась статья [107], в которой рассмотрен новый подход к определению аэроупругих колебаний, основанный на применении технологии Fluid Structure Interaction [108] и программного комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS CFX [109].

Обычно для расчетного определения амплитуд колебаний при срывном (вихревом) флаттере используется модель автоколебаний в виде генератора Ван-дер-Поля, причем для такого расчета нужно иметь ряд экспериментально определяемых при испытаниях в аэродинамической трубе параметров. Эти испытания весьма дорогие. Авторы статьи предлагают использовать для исследования аэроупругих процессов в мостовых сооружениях существующие программные средства и вычислительные технологии.

Разработанная ими методика расчета аэроупругих колебаний при срывном флаттере включает следующие этапы:

1. Определение собственных частот и форм колебаний мостового сооружения.

2. Определение обобщенной массы мостового сооружения.

3. Решение нестационарной задачи (transient) в ANSYS CFX для определения характера обтекания мостового сооружения и частоты срыва вихрей.

4. Определение числа Струхаля и скорости ветра, при которой возможен срывной флаттер.

5. Решение задачи FSI (Fluid Structure Interaction) в CFX для определения аэроупругих колебаний при отрывном течении с учетом формы колебаний мостового сооружения.

По сути дела предлагаемая методика расчета аэроупругих колебаний (срывного флаттера) пролетного строения моста сводится к решению дифференциального уравнения движения твердого тела с одной степенью свободы, в правой части которого находится изменяемая во времени и зависящая от колебаний аэродинамическая подъемная сила:

$$my'' + cy' + ky = F(y, y', y'', t),$$

где $F(y, y', y'', t)$ – обобщенная аэродинамическая подъемная сила, которая зависит от колебаний системы; m, c, k – обобщенные масса, конструкционное демпфирование и жесткость мостового сооружения.

Разработанная авторами методика была применена к определению аэроупругих колебаний танцующего моста в Волгограде. Правда в расчетах были использованы несколько некорректные данные о мостовом сооружении. В частности, было принято: площадь сечения пролетного строения 0,31 м^2; моменты инерции относительно соответствующих осей координат $J_x = 1{,}05$ м^4, $J_y = 3{,}40$ м^4; координаты центра тяжести сечения ч = 0 м, у = 2.31 м; длина пролета была принята равной 168 м (в отличие от реальной 155 м), масса пролета длиной 168 м принята равной 850 т, модуль упругости материала $E = 2{,}1*10^{11}$ Па.

Собственные частоты и формы колебаний пролетного строения моста определялись с учетом нерарезности пролетного строения, то есть как для многоопорной балки. Первая частота оказалась равной 0,38 Гц. Экспериментальная частота, определенная по видеофрагменту колебаний моста оказалась равной 0,42 Гц. В дальнейшем в расчетах использовалась экспериментально определенная частота. (Заметим, что с уменьшением длины пролета частота колебаний увеличивается, так что если бы авторы приняли длину пролета равной не 168 метрам, а 155 м, как у реального пролетного строения, то расчетная частота колебаний была бы близка к экспериментальной). При расчетах учитывалось наличие перильного ограждения вдоль пролетного строения (высотой 0,8 м), так как оно влияло на частоту срыва вихрей.

Были рассмотрены два угла атаки 0° и 4° и соответствующие скорости ветра, при которых возможны аэроупругие колебания: 13 м/с и 14,6 м/с. Результаты расчета для этих двух случаев приведены на рисунках 6.9,6.10,6.11.

$\alpha = 0°$, $V = 13$ м/с, $f = 0{,}39$ Гц $\alpha = 4°$, $V = 14{,}6$ м/с, $f = 0{,}40$ Гц

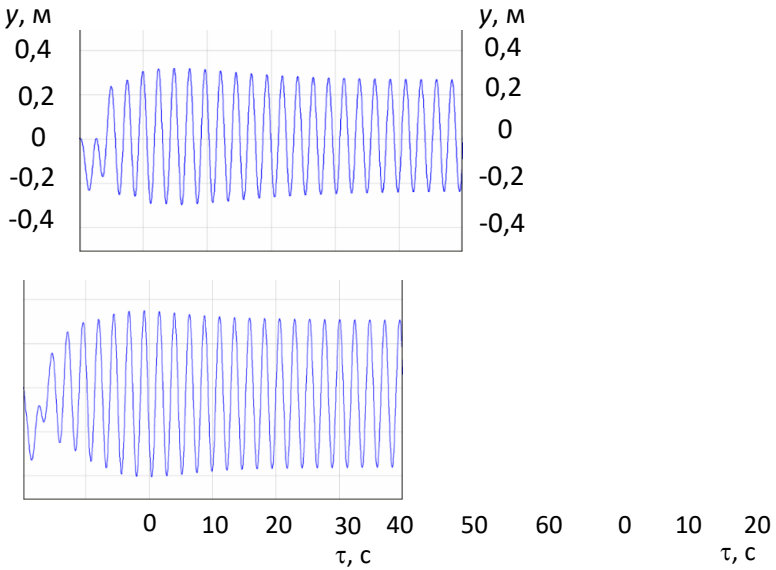


Рис. 6.9. Амплитуды колебаний неразрезного пролетного строения моста [107].

$\alpha = 0°$, $V = 13$ м/с, $f = 0{,}39$ Гц $\alpha = 4°$, $V = 14{,}6$ м/с, $f = 0{,}40$ Гц

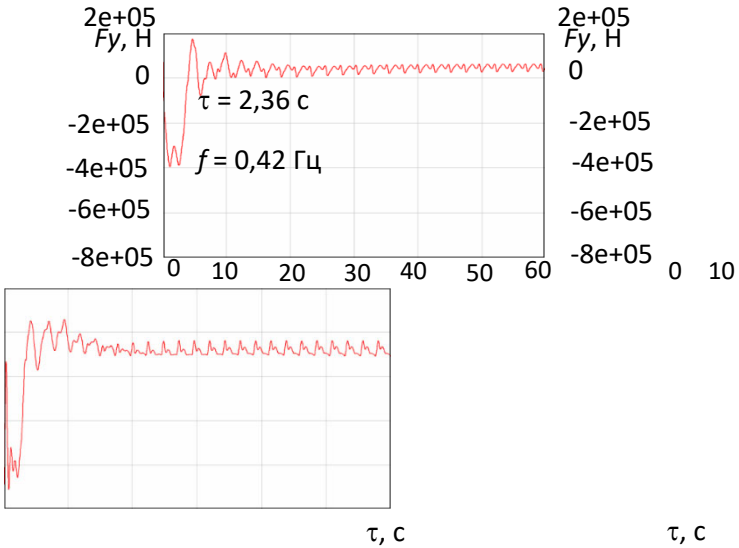


Рис. 6.10. Изменение аэродинамической подъемной силы для рассмотренных случаев [107]

α = 0°, V = 13 м/с, f = 0,39 Гц α = 4°, V = 14,6 м/с, f = 0,40 Гц

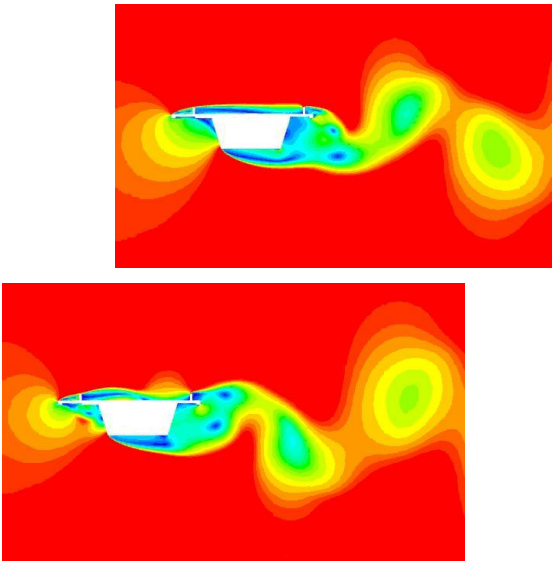


Рис. 6.11. Аэроупругие колебания пролетного строения (вихревой флаттер) [107]

На графиках показаны установившиеся колебания, соответствующие захвату частоты срыва вихрей собственной частотой колебаний моста, то есть частоты колебаний стали равными. Расчетные амплитуды колебаний для углов атаки 0° и 4° соответственно составили 280 мм и 380 мм. Напомним, что при реальных колебаниях моста амплитуды равны приблизительно 400 мм. Здесь также следует отметить то, что в телевизионных репортажах о колебаниях Волгоградского моста журналисты, не имея технического образования, вместо понятия «размах колебаний», то есть разность между наибольшими и наименьшими значениями колеблющейся величины некорректно использовали понятие «амплитуда колебаний» – максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном движении и тем самым запутывали и запугивали телезрителей.

Вывод, сделанный авторами статьи: выполненный расчет показал, что причиной значительной раскачки («танцев») Волгоградского моста стал вихревой флаттер.

6.3.4. В 2012 году в Вестнике Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, серия Строительство и архитектура появилась статья [110], в которой авторы предлагают совсем иную гипотезу о причинах колебаний Волгоградского моста. Они отмечают, что «данным следственного комитета 20 мая 2010 года с 17:47

до 19:30 по московскому времени на автодорожном мосту через р. Волга в Волгограде имели место колебания пролетного строения в вертикальной плоскости с амплитудой до 0.5 м». В статье [110] отмечается, что «по мнению ряда специалистов, колебания происходили при ветре, дующем вдоль реки перпендикулярно мостовому сооружению со скоростью 15–17 м/с. В связи с этим принята официальная гипотеза, обосновывающая волновые колебания входом в начало срывного флаттера, т. е. в автоколебания системы, состоящей из потока сплошной среды и твердого тела, вызываемые сходящими с тела вихрями Кармана». Однако авторы статьи утверждают, что такая а гипотеза не находит подтверждения с учетом событий, имевших место до 20 мая 2010 года, непосредственно 20 мая, так и позже.

Анализ официальных данных метеослужбы Волгограда [111], характеризующих метеорологические условия в период с 01.01.2009 по 31.05.2010 годы позволил авторам установить: скорость ветра в день анализируемого события - 20 мая 2010 составляла в 16-00 – 13 м\с; в 19-00 – 10 м/с. Направление ветра В, СВ. Анализ метеорологических условий в другие дни показал, что, например, скорость ветра 4 февраля 2010 составляла в 00-00 – 13 м/с; в 03-00 –14 м/с; в 09-00 – 17 м/с. Направление ветра соответствовало направлению 20 мая – В, СВ. Однако, несмотря на скорость ветра 17 м/с (превышающую скорость ветра 20 мая 2010г) никаких изменений в состоянии и динамике пролетного строения не зарегистрировано.

Направление ветра В, СВ – близкое к перпендикулярному к оси моста. Следует также отметить, что 24.01.2009, 03.02.2010, 04.02.2010, 16.02.2010, 23.02.2010, 08.03.2010 и 28.03.2010 скорость ветра превышала значение, достигнутое 20 мая 2010г. Однако ни в один из указанных дней в состоянии и динамике пролетного строения моста никаких изменений не зарегистрировано.

В связи с приведенными данными авторы статьи [110] считают, что для принятия только скорости ветра в качестве причины возникновения волнообразных движений пролетного строения моста, убедительные основания отсутствуют. Авторы считают, что наиболее вероятной причиной возникновения колебаний пролетного строения моста через Волгу в Волгограде послужили взрывы боеприпасов, ликвидируемых в соответствии с Федеральной программой «Об организации уничтожения боеприпасов с истекшим сроком хранения с целью обеспечения безопасности военных объектов, населения проживающего вблизи арсеналов, баз, складов боеприпасов». Подрыв боеприпасов осуществлялся на общевойсковом полигоне «Прудбой», расположенном в ~50 км от г. Волгограда [112]. Подрыв боеприпасов начался за два месяца до описываемого события, и на телефон ГО ЧС Волгограда стала поступать информация о вибрации зданий и отдельных предметов. Анализ времени поступления сигналов от граждан достаточно тесно коррелирован со временем подрыва боеприпасов.

Как показывают исследования, взрывы малого заряда, 20 г, дают частоты до ~400 Гц, а при взрыве 3,5 кт взрывчатого вещества в каменной соли частота составляет ~1 Гц для сигналов на расстоянии в 10 км [113]. Частота собственных колебаний пролетного строения длиной 155 м составляет менее 1 Гц. Поэтому можно предполагать, что после взрыва характеристики акустических волн к моменту их достижения мостового сооружения будут достаточно близки к характеристикам собственных колебаний пролетов длиной 155 м. Заметим также, отмечают авторы, что колебания пролетного строения происходили 20 мая, когда уровень паводковых вод в Волге близок к максимуму. Таким образом, акустические волны беспрепятственно распространялись по водонасыщенным грунтам от места подрыва боеприпасов до опор моста. Взрывы большого заряда - два по пятьдесят тонн (в тротиловом эквиваленте) с интервалом в 10 мин предположительно вызвали акустические волны по направлению, в том числе, совпадающему с осью моста. Многими учеными отмечается, что большое значение для балочных мостов средних и больших пролетов имеет передача продольных сейсмических сил [114]. Эти соображения позволили авторам статьи [110] сделать предположение, что акустические волны имели характеристики, близкие к характеристикам собственных колебаний трех пролетных строений длиной по 155 м, что и способствовало резкому возрастанию амплитуды колебаний этих пролетных строений. В подтверждение авторы рассматривают математическую модель резонанса в пролетных строениях моста, вызванного акустическими волнами, и приводят выкладки, из которых следует, что точка в середине пролета может сместиться на 0,89 м ниже положения равновесия (это конечно в два с лишним раза больше, чем наблюдаемая амплитуда колебаний пролетного строения).

6.3.5. Кроме рассмотренных, в Интернете можно найти еще ряд своеобразных мнений о причинах такого поведения Волгоградского моста.

Например, в весьма развернутом материале Ю.И. Лобановского [115] говорится, что «колебания Волгоградского моста произошли под действием ветра в процессе возникновения срывного флаттера».

В публикации [116] говорится, что «причиной колебаний моста была названа аэродинамика объекта и «уникальное стечение обстоятельств». Внутренняя частота собственных колебаний моста могла войти в резонанс с порывами северного ветра в русле Волги. Ветровой резонанс стал причиной возникновения незатухающих колебаний полотна моста и раскачки пролётов длиной 154 метра. Один из авторитетных специалистов по флаттеру А.Н. Воробьёв отверг вывод экспертной комиссии, согласно которому причиной возникновения «танца» моста был ветровой резонанс. Он утверждал, что причиной аномальных колебаний волгоградского моста явились вспышки на Солнце, которые накануне происходили на самом деле и зафиксированы станциями слежения за активностью Солнца. Своё утверждение

он обосновывает тем, что Солнце и Земля обмениваются гравитационными сигналами, которые в штатном режиме Земля принимает от Солнца, а Солнце принимает от Земли. По его убеждению, аномальные колебания волгоградского моста не могут быть связаны с флаттером из-за малой скорости ветра, но они могут быть связаны ещё и с тем, что мост построен в аномальной зоне. Он ещё заявил о том, что с волгоградским мостом однажды произошёл такой казус: конструкции моста сначала самостоятельно провисли, а потом самостоятельно выпрямились. К сожалению, причину он не назвал.

Кстати, в то время, когда наблюдалось такое «непроектное» поведение Волгоградского моста, имело место резкое и нетипичное падение уровня воды в Волге в районе Волгоградского водохранилища [117], приведшее к тому, что Волга сильно обмелела, и обнажились обширные участки береговой зоны. Можно предположить, что это явление также как-то связано с необычным поведением моста. Кстати, это противоречит утверждениям авторов статьи [110], которые утверждают, что в это время был максимальный уровень воды.

6.4. Влияние современных тенденций развития мостостроения

Очевидно, что конструкция моста в Волгограде является иллюстрацией современных тенденций в развитии мостостроения (с поправкой на российские условия). К таким тенденциям следует отнести: увеличение пролета балочных пролетных строений (длина каждого из трех самых больших русловых пролетов у Волгоградского моста составляет 155 метров); уменьшение толщины стенок пролетного строения (конструкция металлических пролетных строений запроектирована из сталей повышенной прочности, коробчатого сечения с наклонными стенками, и состоящей из верхних и нижних ортотропных плит и L-образных элементов главных балок); повышенная гибкость пролетного строения (высота составляет 1/47 длины пролетного строения или 0,0212); использование современной конструкции дорожной одежды с применением полимербитумных вяжущих (это позволило уменьшить толщину дорожной одежды и в то же время обеспечить совместную работу слоев дорожной одежды между собой и с ортотропной плитой проезжей части).

В принципе, по мере увеличения длины пролетных строений и уменьшения их высоты и толщины их стенок следовало ожидать повышения чувствительности пролетных строений к ветровым воздействиям. И вообще, следует признать, что в поведении новых мостовых конструкций еще далеко не всегда все ясно.

Примером недостаточной изученности поведения мостов является известный мостовикам случай непроектного поведения пешеходного висячего моста «Миллениум» в Лондоне (рис. 12).

Рис. 6.12. Мост тысячелетия (мост Миллениум) через Темзу в Лондоне

Источник: http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/77/Millennium_Bridge750pix.jpg

Мост Миллениум (London Millennium Footbridge) длиной 325 метров был построен в ознаменование наступления третьего тысячелетия и стал одним из нескольких масштабных сооружений, возведённых в Лондоне в связи с празднованием Миллениума. 10 июня 2000 года мост был торжественно открыт в присутствии королевы Елизаветы II. В этот день по мосту прошло около 100 тыс. человек. Одновременно на мосту находилось до 2 тыс. человек. При этом выяснилась - мост слишком сильно раскачивался из стороны в сторону, о чем и сообщили пешеходы. Сначала была предпринята попытка ограничить количество людей, одновременно проходящих по мосту, но это привело к возникновению длинных очередей. Через несколько дней мост закрыли на реконструкцию, но перед этим провели обстоятельные исследования причин возникновения колебаний моста. Для этого по мосту проходили колонны пешеходов в различной последовательности. Как сообщается в пресс-релизе на сайте Университета Бристоля, проводившего исследования, колебания были вызваны естественными для человека движениями. Двигаясь вперед, человек совершает небольшие колебания из стороны в сторону для того, чтобы поддерживать равновесие. При этом мост также колеблется, причем частота этих колебаний может быть различной. Разработанная учеными из Бристоля математическая модель показала, что колебания пешеходов могут «подпитывать» колебания моста. Работы по устройству систем гашения колебаний заняли 20 месяцев и обошлись городу в пять миллионов фунтов стерлингов (стоимость строительства составила 18 миллионов). Повторное открытие моста для пешеходов состоялось 22 февраля 2002 года. С тех пор значительные колебания моста не наблюдались.

Так что новые конструкции мостов могут преподнести новые сюрпризы исследователям.

6.5. Случаи аэродинамической неустойчивости мостов

В подавляющем числе публикаций, связанных с проблемой непроектного поведения Волгоградского моста (рис. 6.8) отмечалось, что такое поведение балочных мостов отмечается впервые, в то время как значительные колебания и даже разрушения висячих мостов под действием ветровой нагрузки – это в определенной мере изученное и потому понятное явление.

Однако более детальное ознакомление с вопросом показало, что подобные явления в многопролетных неразрезных балочных мостовых конструкциях имели место и ранее. Об этом свидетельствует собранная Г.А. Наумовой и С.А. Пономаренко доказательная база [118–121] по проявлениям аэродинамической неустойчивости балочных неразрезных мостов.

Еще до Волгоградского моста эффект аэродинамической неустойчивости был обнаружен у нескольких мостов с балочными пролетными строениями, в том числе:

– у виадука Tozaki, Япония;

– у моста через Токийский залив (Trans Tokyo Bay Highway bridge), Япония;

– у мостового перехода к аэропорту Kansai, Япония;

– у мостов – подходов к мосту Oshima, Япония;

– у моста Rio-Niteroi в Рио де Жанейро, Бразилия;

– у мостов-подходов к Восточному мосту Большой Бельт, Дания.

Рассмотрим подробнее некоторые из этих сооружений.

6.5.1. Аэродинамическая неустойчивость виадука Tozaki

Аэродинамическая неустойчивость наблюдалась у виадука Tozaki в Японии в 1982 году. Этот виадук имеет длину 1010 метров и примыкает к мосту Ohnaruto (рис. 6.13). Оба мостовых сооружения находятся на дороге, проходящей через висячий мост с самым длинным в мире пролетом 1991 м Akashi Kaikyo. Пролетные строения моста представляют собой стальные коробчатые балки, объединенные в две неразрезные плети – трех (108 м + 108 м + 108 м) и четырех пролетные (149,6 м + 190,4 м + 190,4 м + 149,6 м) (рис.6.14) [122; 123].

Рис. 6.13. Схема расположения мостов между островами Хонсю и Сикоку. Виадук Tozaki располагается около моста Ohnaruto [122]

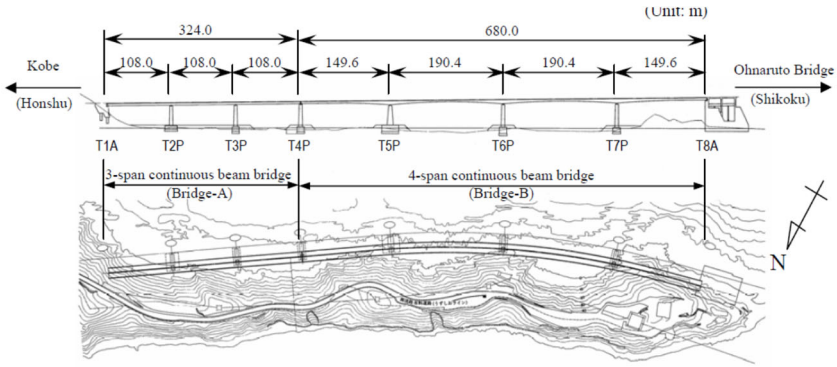
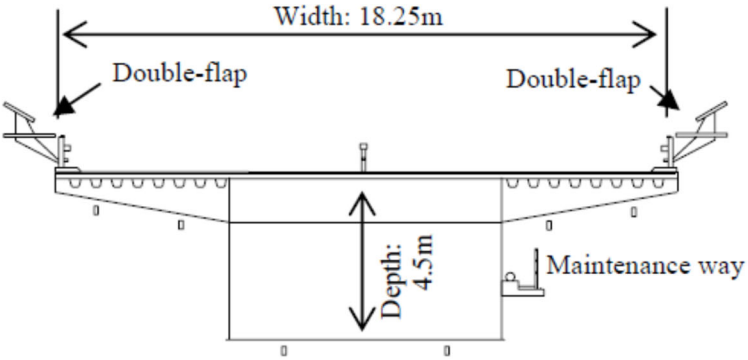


Рис. 6.14. Схема виадука Tozaki,
включающего две неразрезные плети [122]

При проектировании моста закладывалась аэродинамическая устойчивость к ветру, имеющему скорость до 50 м/с, что характерно для района строительства. Сам виадук Tozaki построен вдоль мыса Tozaki с крутыми склонами (рис.6.15), и потому при проектировании и на этапе сооружения проводились многочисленные испытания в аэродинамической трубе. Но, очевидно, испытания эти инициировались не предположениями о возможном непроектном поведении моста в будущем, а особыми условиями его размещения вдоль мыса Tozaki.

Рис. 6.15. Расположение виадука Tozaki
вдоль узкого мыса Tozaki [122]

Для управления поведением моста в условиях ветрового воздействия (для противодействия образованию вихрей Кармана) на пролетном строении были установлены двойные открылки за перильными ограждениями на обоих плетях моста А и В (рис. 6.16) и нижние юбки на плети В (рис. 6.17).



(a) Bridge-A

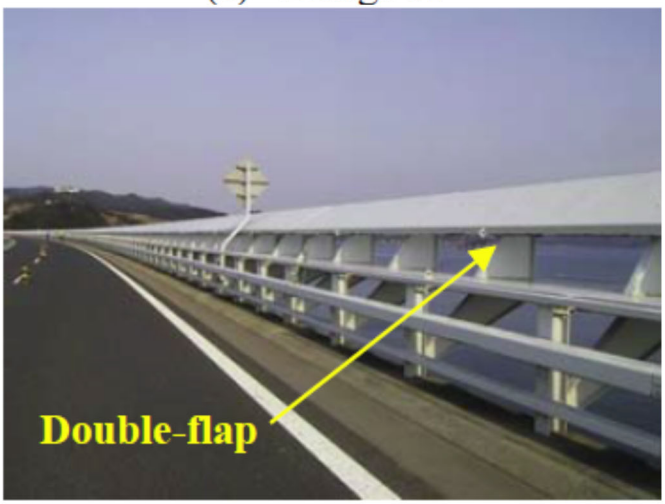


Рис. 6.16. Установка двойных открылков (double-flap) на пролетном строении моста А схема (вверху) и фото (внизу) [122]

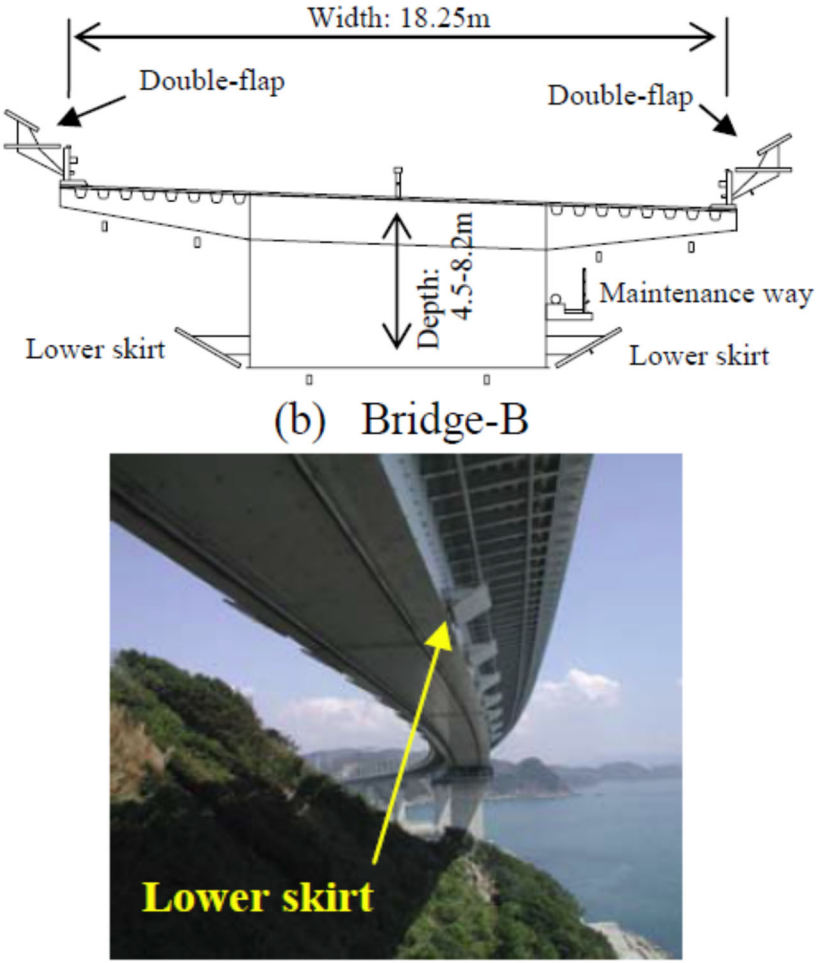


Рис. 6.17. Установка нижних юбок (lower skirt) на пролетном строении моста B схема (вверху) и фото (внизу)[122]

За время эксплуатации (20 лет) установленные противоветровые элементы интенсивно коррозировали, что привело к необходимости их замены. При этом, с целью снижения стоимости содержания моста, в процессе замены противоветровых элементов было решено дополнительно исследовать влияние этих элементов на аэродинамическую устойчивость пролетного строения. Испытания проводились в аэродинамической трубе, причем модель пролетного строения B выполнялась с учетом топографических особенностей местности.

В результате испытания модели пролетного строения А было установлено, что открылки со стороны мыса не влияют на аэродинамическую устойчивость пролетного строения, а вот удаление открылков с противоположной стороны приводило к очень большой амплитуде вибраций, вызванных вихрями Кармана. В результате было установлено, что наветренные открылки необходимы, а вот подветренные могут быть удалены.

Полные аэродинамические испытания модели части В проводились в большой аэродинамической трубе [123]. Масштаб полной модели был принят 1: 100 для рассмотрения особенностей поведения (максимальная скорость ветра - 12 м / с). Фото модели приведено на рисунке 6.18.

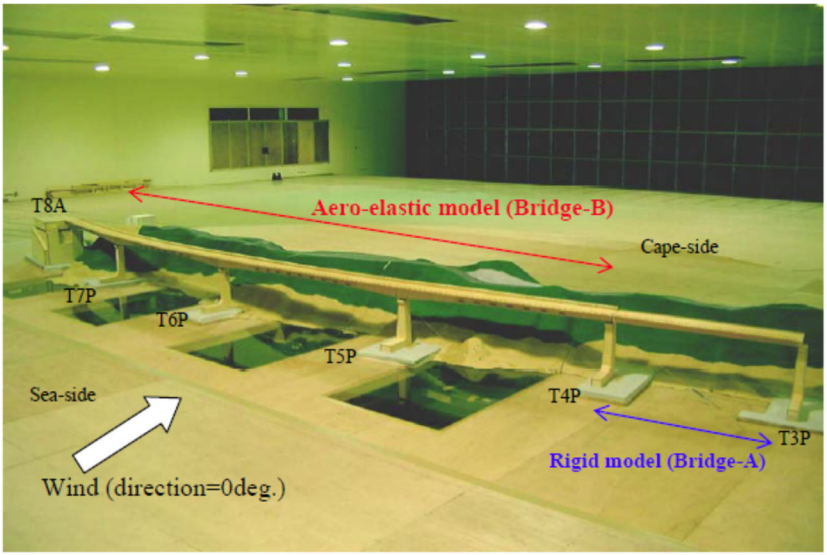


Рис. 6.18. Модель для проведения испытаний на аэроупругость [122].

Для того чтобы оценить влияние принимаемых мер обеспечения аэростабильности, было проведено 12 испытаний. В результате было установлено следующее:

– для идентификации испытаний на полной модели было проведено сопоставление с результатами испытаний в 1981 году и с данными о поведении реального моста;

– противоветровые элементы, установленные с морской стороны на мост не оказывали какого-либо воздействия и могли быть удалены;

– аэродинамическая стабильность обеспечена при действии ветра со стороны моря (в направлениях 0, +10°, +20°) и при действии ветра со стороны мыса (в направлениях 180°, 200°) даже если противоветровые устройства отсутствовали.

– было установлено, что значительный отклик пролетного строения возникает при действии отдельных вихрей со стороны мыса в направлениях 180° и 200°, однако амплитуда колебаний оказалась меньше допустимой величины.

Основываясь на полученных результатах, открылки, установленные на мосту со стороны мыса, были удалены в 2004–2008 годах. Однако для дополнительной проверки на каждом из мостов до и после удаления противоветровых элементов были установлены акселерометры и анемометры в соответствии со схемой на рисунке 6.19.

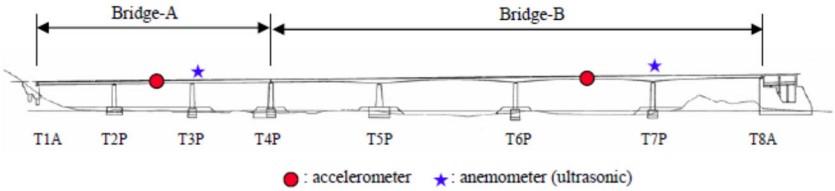


Рис. 6.19. Установка приборов на мостах
для проведения натурных измерений [122]

Результаты проведенной переоценки аэродинамической устойчивости виадука Tozaki можно сформулировать так:

– половину первоначально установленных противоветровых элементов можно убрать;

– никаких особых изменений в динамических характеристиках балки до и после удаления противоветровых элементов обнаружено не было;

– работы по удалению части противоветровых элементов позволят уменьшить стоимость обслуживания моста.

Так как проектирование и строительство мостов проводится в условиях ограниченного времени и недостаточной информации, то результат такой работы не всегда будет эффективным. Но так как мосты – это долговременные сооружения, то исследования в процессе эксплуатации необходимы, так как могут повысить эффективность их эксплуатации.

6.5.2. Аэроупругие колебания моста Рио-Нитерой

Похожие проблемы возникли у моста Рио-Нитерой через залив в Гуанабара в Рио де Жанейро в Бразилии (рис.6.20 и 6.21). Мост имеет длину 13,3 км, в том числе над водой 8,8 км. Большинство пролетов моста выполнено из предварительно напряженного железобетона, и только три центральных пролета (200 + 300 + 200) метров перекрыты относительно гибкими металлическими неразрезными двухкоробчатыми пролетными строениями с консолями (рис.6.22, 6.23). Полная длина неразрезной плети пролетного строения составляет 848 метров [124].

Рис. 6.20. Вид вдоль моста Рио-Нитерой

Источник: http://bestbridge.net/SAm/rio-niteroi.phtml

Рис. 6.21. Вид с высоты птичьего полета на мост Рио-Нитерой

Источник: http://bestbridge.net/SAm/rio-niteroi.phtml

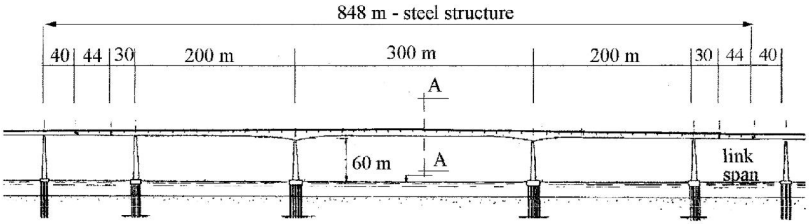


Рис. 6.22. Схема металлической части пролетного строения моста [125]

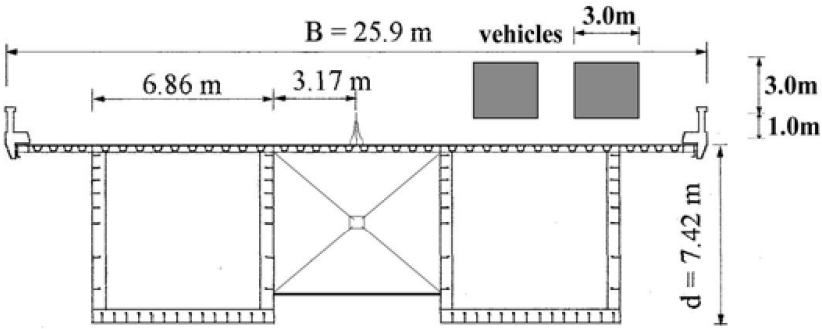


Рис. 6.23. Поперечное сечение металлической части пролетного строения [125]

Подмостовой габарит имеет высоту 65 м над уровнем моря. Мост пересекает судоходный канал, идущий от устья залива, и его ось перпендикулярна юго-западному направлению. Из открытого океана нередко дуют юго западные ветры со скоростью 90–100 км / ч, а порывы ветра с относительно низкой скоростью 50–70 км/ч имеют высокую вероятность появления.

Из-за отсутствия каких-либо препятствий перед мостом, которые могли бы привести к появлению турбулентности, а также из-за довольно высокого расположения пролетного строения над уровнем воды, оно подвергается воздействию аэроупругих сил, создаваемых квазиламинарным воздушным потоком. В этих условиях конструкция пролетного строения оказывается более подверженной колебаниям, вызванным срывными вихрями, чем если бы она располагалась в пересеченной местности.

При действии устойчивых ветров со скоростью 55–60 км/ч (15–16,5 м/с) перпендикулярно пролетному строению плохо обтекаемое пролетное строение испытывает вертикальные колебания по первой изгибной форме, вызываемые срывными вихрями. Заметим, что металлическое пролетное строение обладает достаточной крутильной

жесткостью, обеспечивающей сопротивление кручению при скорости ветра ниже 200 км/ч.

Из-за возникновения периодических аэроупругих колебаний достаточно гибкой металлической части пролетного строения моста до недавнего времени движение по мосту ограничивалось или даже закрывалось, когда скорость ветра достигала 50 км/ч (~ 14м/с) с целью обеспечения удобства и безопасности движения. Иногда, из-за трудностей быстрого ограничения или прекращения движения по мосту, автомобилям приходилось двигаться по колеблющемуся мосту, что вызывало определенные неудобства и даже опасения.

Сильные вертикальные колебания, которые привели к панике среди водителей и даже заставили некоторых из них покинуть автомобили, наблюдались во время бури, которая произошла 17 августа 1980 года.

В дальнейшем порывы ветра с устойчивой скоростью от 55 до 60 км/ч (14–16 м/с), приводящие к колебаниям пролетного строения наблюдались каждые два года, начиная со времени пуска моста в 1974 году. В четырех случаях в период с 1997 по 2002 год устанавливалась относительно низкая скорость ветра в короткие интервалы времени от 5 до 15 минут, в которые видеокамеры, контролирующие транспортный поток, позволили зафиксировать колебания с амплитудой от 0,25 до 0,60 м.

Эта информация вызвала определенную тревогу и администрации моста и специалистов в области аэродинамики, да и всех пользователей моста за сохранность стального пролетного строения и безопасность его эксплуатации.

Поэтому были предприняты меры по предупреждению подобных ситуаций.

Сначала предполагалось использовать пассивные меры, то есть для ослабления ветрового воздействия установить на конструкции моста специальные дефлекторы, открылки и другие регулирующие поток ветра элементы. Однако испытания, проведенные на модели в аэродинамической трубе [126] показали, что перекрытие зазора между коробками пролетного строения не дает заметного эффекта. Положение также ухудшает наличие в транспортном потоке длинных и высоких транспортных средств, которые меняют характер обтекания.

Поэтому были предприняты дальнейшие шаги в изучении возможных способов управления поведением пролетного строения с использованием активных и пассивных устройств [127], с тем, чтобы уменьшить амплитуды колебаний, вызываемые действием ветра в совокупности с движением транспорта.

По результатам исследований для управления колебаниями пролетного строения моста использовалась система из нескольких синхронизированных динамических аттенюаторов – устройств, позволяющих эффективно уменьшить амплитуды колебаний пролетного строения (рис. 6.24).

Рис. 6.24. Установка аттенюаторов внутри металлического пролетного строения моста Рио-Нитерой [125]

6.6. Мероприятия по повышению аэродинамической устойчивости мостов

Выше уже частично были рассмотрены мероприятия по снижению амплитуды колебаний металлических балочных пролетных строений мостов, вызванных действием ветра. Далее рассмотрим применение некоторых способов гашения колебаний пролетных строений мостов, применяемые в России, в том числе и для гашения колебаний Волгоградского моста.

6.6.1. Исследование аэродинамической устойчивости моста через Волгу в Кинешме

После случая с Волгоградским мостом было решено проверить аэродинамическую устойчивость пролетных строений автодорожного моста через Волгу у города Кинешмы (рис. 6.25). Эксперимент проводился в аэродинамической трубе Т-103 ЦАГИ на отсечной модели пролетного строения моста, выполненной в масштабе 1:30, при скоростях потока до 40 м/с (рис. 6.26). Для уменьшения амплитуды колебаний пролетного строения исследованы несколько вариантов решений. На рисунке 6.27 показаны результаты исследований колебаний конца консоли пролетного строения при вылете консоли в 154 метра при различных скоростях ветра для разных способов гашения колебаний: 1 – в исходном состоянии (без закрытия центрального проема и дефлекторов), 2 – при закрытом центральном проеме и верхними дефлекторами, 3 – при закрытом центральном проеме и верхними и нижними дефлекторами. Как видно, установка верхних и нижних дефлекторов и закрытие центрального проема облегченной крышкой позволяют уменьшить размах колебаний с 3,2 метра до

0,5 метра. Причем наибольший размах наблюдается при разных скоростях ветра: в исходном состоянии при скорости 20 м/с, а в случае использования гасителей колебаний при 28 м/с. На рисунках 6.28 и 6.29 показано размещение гасителей колебаний на пролетном строении.

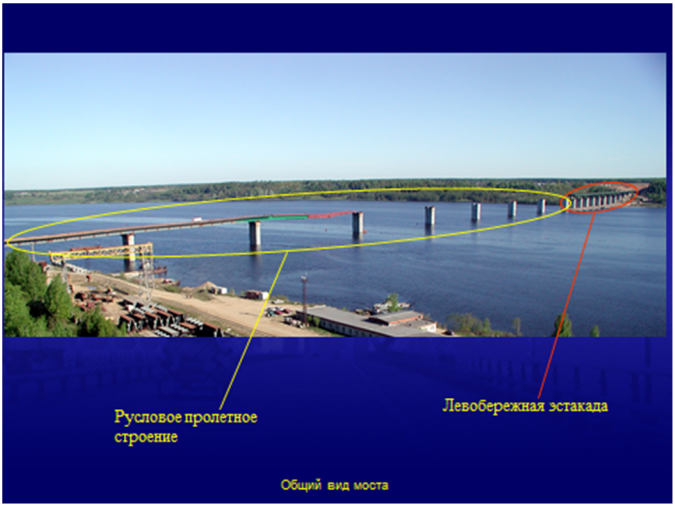


Рис. 6.25. Мост через Волгу у г. Кинешма. Длина пролетов 154 м. (http://www.tsagi.ru/pressroom/archive/2011/1752)

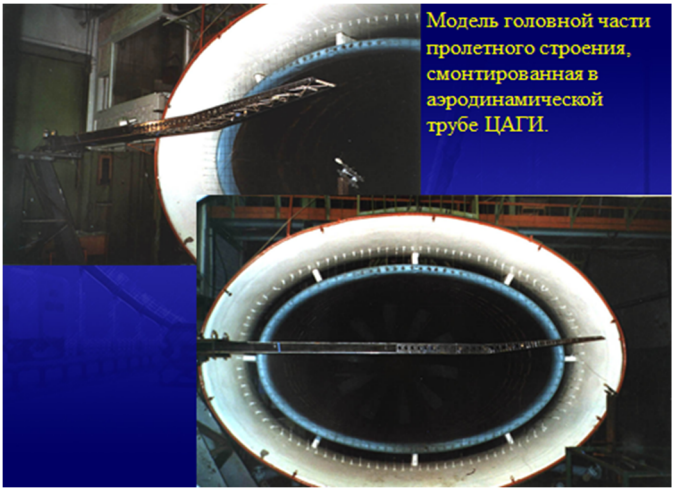


Рис. 6.26. Модель части пролетного строения при продувке в аэродинамической трубе ЦАГИ (http://www.tsagi.ru/pressroom/archive/2011/1752)

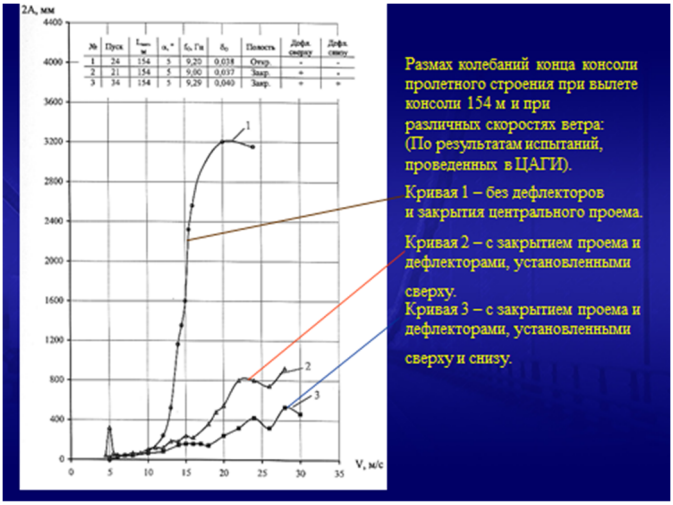


Рис. 6.27. Влияние способов управления колебаниями консоли пролетного строения на их амплитуду (http://www.tsagi.ru/pressroom/archive/2011/1752)

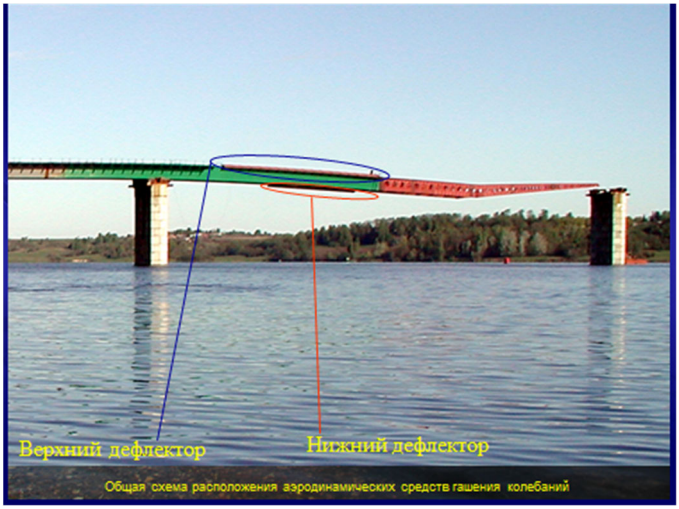


Рис. 6.28. Расположение гасителей аэродинамических колебаний на пролетном строении (http://www.tsagi.ru/pressroom/archive/2011/1752)

Рис. 6.29. Расположение дефлектора на консоли пролетного строения закрытие проема в пролетном строении облегченной заглушкой (http://www.tsagi.ru/pressroom/archive/2011/1752)

6.6.2. Способы уменьшения аэродинамических колебаний Волгоградского моста

Для установления причин непроектного поведения Волгоградского моста в ЦАГИ по заданию ОАО «Гипротрансмост» были проведены исследования модели пролетного строения в аэродинамической трубе [128]. Одновременно исследовались и возможные варианты снижения уровня колебаний в случае их возникновения. В процессе испытаний был подтвержден предварительный диагноз о том, что причиной колебаний пролетных строений Волгоградского моста является ветровой резонанс.

Для Волгоградского моста были проанализированы два способа гашений колебаний:

– установка обтекателей на боковых поверхностях пролетного строения, установка сплошных экранов на передней и задней кромках пролетного строения, установка щелевых экранов с вертикальными или горизонтальными прорезями типа «жалюзи» на боковых кромках пролетного строение в шахматном порядке;

– установка массовых демпферов в серединах пролетов.

Проведенные в ЦАГИ испытания показали, что наиболее эффективным способом устранения опасных колебаний является повышение декремента колебаний пролетного строения. В результате исследований и расчетов рекомендовано для гашения колебаний пролетного строения по первым трем формам собственных колебаний установить адаптивные массовые демпферы массой 20,8 т в середине каждого длинного пролета. Несмотря на более высокую стоимость этого решения оно более предпочтительно, так как

поддается корректному расчету и его работа полностью ясна. Для компенсации потери грузоподъемности пролетных строений в результате дополнительной нагрузки от демпферов было проведено усиление пролетных строений с использованием фибробетона [128]. Рисунки 6.30 и 6.31 иллюстрируют установку демпферов в пролетных строениях Волгоградского моста.

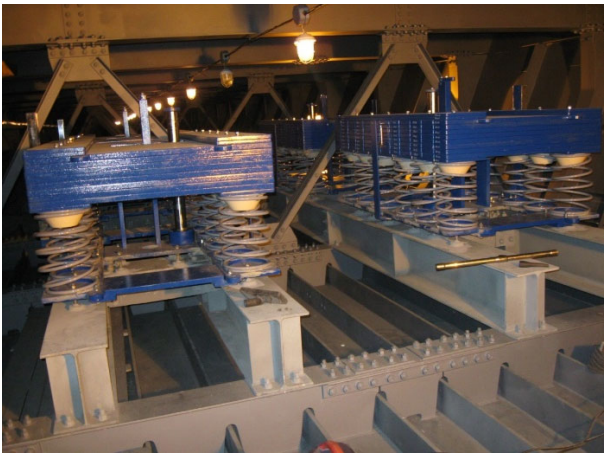


Рис. 6.30. Установка демпферов внутри пролетного строения Волгоградского моста

Источник: http://34bloga.ru/2067/

Рис. 6.31. Процесс установки демпферов в пролетном строении моста

Источник: http://34bloga.ru/2067/

6.6.3. Гидродинамический гаситель колебаний неразрезных пролетных строений мостов

Как выше уже отмечалось, для аэродинамического гашения колебаний пролетных строений неразрезных мостов могут использоваться специальные аэродинамические обтекатели, при разработке которых обычно применяется аэродинамическое моделирование модели моста в аэродинамической трубе.

В работах Г.А. Наумовой и С.А. Пономаренко [118 - 120] предложен способ гашения колебаний, реализующий принцип открытой энергетической системы. На рисунке 6.32 показаны принципы работы гасителей колебаний динамического и гидродинамического типа.

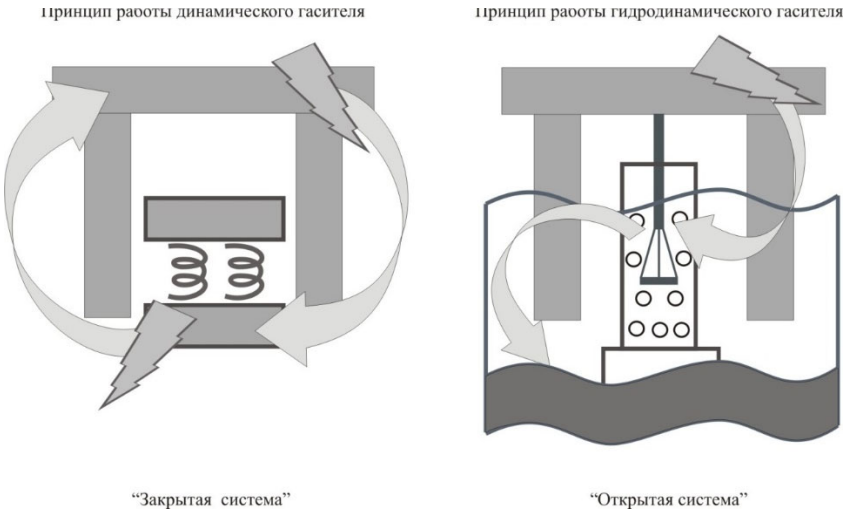


Рис. 6.32. Принцип работы гасителей динамического и гидродинамического типа [119]

Гидродинамический гаситель конструктивно состоит из двух основных элементов: поршня-гасителя в виде круглой плиты, прикрепленной штоком к середине колеблющегося пролетного строения и стакана круглого сечения, устанавливаемого в воде под пролетным строением, в котором и размещается и перемещается поршень в процессе колебаний (рис.6.33). При колебаниях пролетного строения моста его вертикальные перемещения передаются через шток круглого гасителя колебаний, который перемещаясь в воде, заключенной в объем стакана, рассеивает энергию колебательных перемещений пролетного строения в воду.

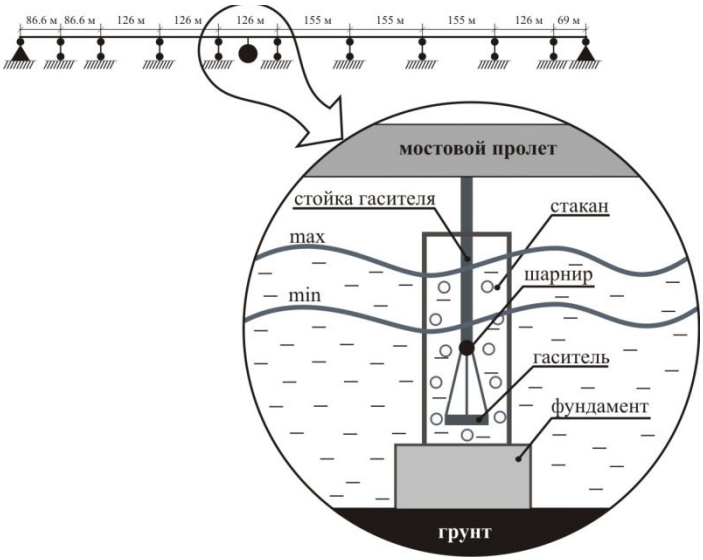


Рис. 6.33. Схематическое устройство гидродинамического гасителя колебаний пролетного строения моста [119]

Более детальное описание гидродинамического гасителя колебаний пролетных строений мостов можно найти в статьях [118–120].

ГЛАВА 7. АВАРИЯ НАДЗЕМНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА И ЕЕ АНАЛИЗ

7.1. Конструкция пешеходного перехода

Исследуемый надземный пешеходный переход находится на км 92+150 автомобильной дороги М-10 «РОССИЯ» около города Клин и состоит из пролетного строения над автодорогой и двух двухмаршевых лестничных сходов расположенных в остекленных башенных опорах (рис. 7.1 и 7.2).

Рис. 7.1. Надземный пешеходный переход с остеклением (фото авторов)

Рис. 7.2. Вид на пешеходный переход изнутри (фото авторов)

Пролетное строение балочно-разрезное цельнометаллическое состоящее из двух главных балок, объединенных нижней ортотропной плитой. Полная длина балок – 35,60 м, высота главных балок – 1,570 м., толщина ребер – 0,012 м, толщина плиты – 0,012 м. Лестничные сходы двухмаршевые с изменением направления движения, перпендикулярны пролетному строению. Сопряжение пролетного строения и лестничных сходов выполнено по переходным площадкам. Опоры и лестничные сходы установлены на объединенных фундаментах на естественном основании. Полная длина сооружения – 47.10 м, с учетом лестничных сходов – 76,56 м. Ширина пешеходной части 2,25 м. Перильное ограждение сооружения – металлические поручни высотой 1 м на основной конструкции. Надземный пешеходный переход пересекает дорогу на высоте 5,6 м. Высота самих конструкции надземного пешеходного перехода составляет 3,38 м.

Остекление пролетного строения было выполнено блоками термоформного тоннеля полуциркульного очертания радиусом 1,2 м из поликарбоната, крепление блоков осуществлялось зажимами. Остекление опорных башен выполнено плоскими пластиковыми панелями на металлическом каркасе. Пешеходный переход построен в 2002 г. Проектные нормативные временные нагрузки: пешеходная, ветровая, снеговая.

7.2. Авария пешеходного перехода

В марте 2015 года произошло разрушение остекления пролетного строения (рис.7.3). По данным метеостанции г. Клин на момент обрушения остекления пролетного строения (29.03.2015 г.) был зарегистрирован сильный ветер, его максимальная скорость (с учетом порывов) составляла 16 м/сек, что относится к неблагоприятным явлениям, в соответствии с критериями действующих норм – РД 52.04.563-2013.

Рис. 7.3. Вид на пешеходный мост после разрушения остекления пролетного строения (фото авторов)

Возникла задача установить причины разрушения остекления пролетного строения. Вопросы обследования, диагностики мостовых сооружений, оценки их состояния, определения нагрузок на сооружения, предупреждения аварий, анализа причин аварий, динамического поведения мостовых сооружений при ветровом воздействии, а также проблемы расчетного анализа подобных сооружений рассмотрены в работах [21; 129–141].

7.3. Обследование мостового сооружения

Работы по осмотру и обследованию надземного пешеходного перехода проводились 30 июня 2015 года. В ходе обследования были осмотрены: пролетное строение после обрушения остекления и опорные башни лестничных сходов. Результаты осмотра приведены на рисунках 7.4–7.11.

На пешеходном мосту на момент обследования полностью отсутствует остекление пролетного строения и элементы его крепления (рис.7.4). Во время обследования эксплуатирующая организация не смогла представить для осмотра части и элементы обрушившегося остекления и крепления. Были представлены только некоторые фотографии после обрушения. Анализ представленных фотоматериалов позволил заключить, что порыв ветра был со стороны Москвы, что привело к срыву верхних элементов крепления к правому перильному ограждению и слому крепления к левому (со стороны области) перильному ограждению, фрагменты остекления находились на правом откосе дороги за сооружением (рис. 7.5 и 7.6).

Рис. 7.4. Вид на прохожую часть перехода. Полное отсутствие остекления пролетного строения и элементов крепления (фото авторов)

Анализ рабочей документации показал, что фактические конструкции крепления блоков остекления пролетного строения отличаются от проектных решений (рис. 7.7, а, б).

Конструкция крепления остекления пролетного строения в процессе производства работ была принята по аналогии с креплением остекления другого надземного пешеходного перехода, который находится на расстоянии около 0,5 км от данного сооружения (рис. 7.8 и 7.9). Материалы согласования изменения технического решения и исполнительная документация не были предоставлены.

Сопоставительный анализ конструкции остекления пролетных строений обследуемого и аналогичного пешеходных переходов показывает существенные отличия в конструкции и креплении остекления (рис. 7.9).

Элементы крепления обследуемого перехода, принятые по аналогии с другим пешеходным переходом, не совсем подходят по размерам к обследуемому сооружению: основание крепления (поручень) на обследуемом сооружении меньше по ширине, а крепление нижних элементов осуществлялось одним саморезом (рис. 7.10, а), в то время как на аналогичном сооружении – двумя саморезами (рис. 7.10 б). В процессе эксплуатации саморезы сильно прокорродировали.

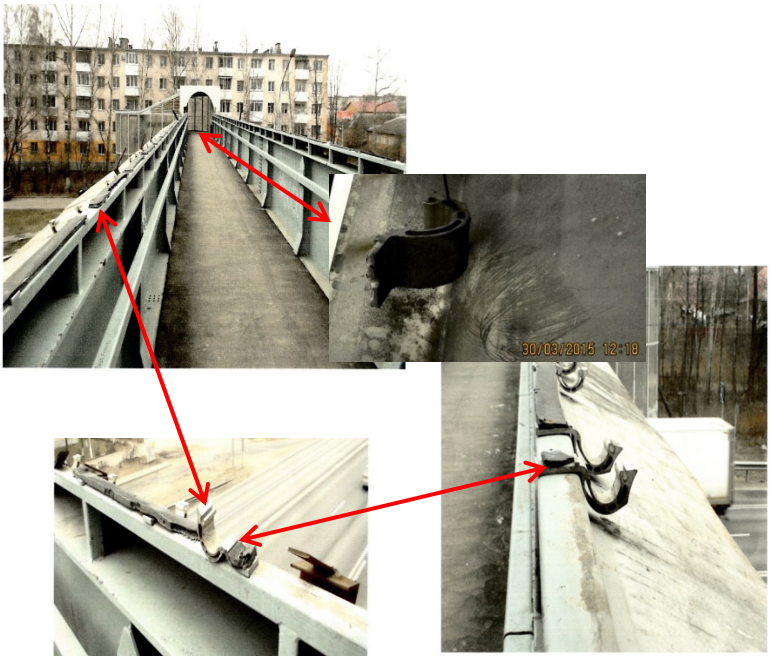


Рис. 7.5. Вид на пролетное строение после обрушения остекления. Наличие нижних частей крепления и резиновые уплотнители со стороны Москвы. Разрушение нижней части укрепления со стороны области по линии затяжки саморезом (фото предоставлено эксплуатирующей организацией)

В процессе эксплуатации некоторые узлы крепления блоков остекления вышли из строя (раскрепились). Свидетели происшествия рассказывали, что перед обрушением правая часть остекления около опоры 1 сильно качалась, что свидетельствует о нарушении работы крепления. Наличие на некоторых участках пролетного строения самодельных конструкций для прижатия остекления, так же свидетельствует об отсутствии крепления или нарушениях в их работе (рис. 7.11). На аналогичном пешеходном переходе узлы крепления остекления являются недостаточно надежными. От воздействия динамических (ветровых) нагрузок происходит смешение верхней части крепления. В процессе эксплуатации необходимо строго следить за этими узлами (рис. 7.12).

Рис. 7.6. Фрагменты остекления на правом откосе за сооружением (фото авторов)

а) б)

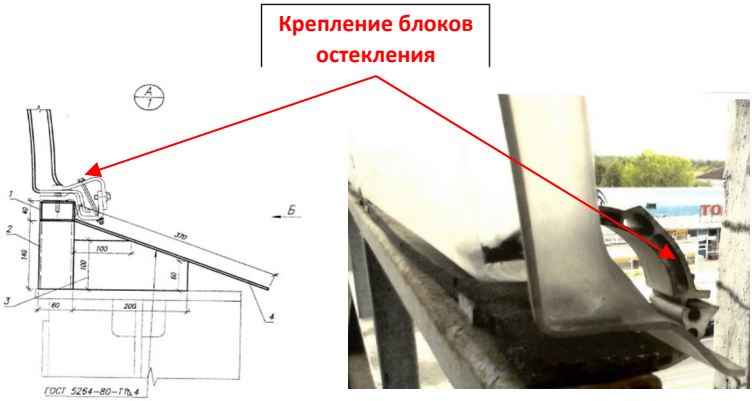


Рис. 7.7. Крепление блоков остекления к поручню перильного ограждения: а) по проекту; б) фактическое (с зажимами) (схема и фото авторов)

Рис. 7.8. Вид на аналогичный пешеходный переход (0,5 км до сооружения) со стороны Москвы

а) б)

Рис.7.9. Вид на прохожую часть пешеходных переходов: а) обследуемого; б) аналогичного (фото авторов)

а) б)

Рис. 7.10. Соединение нижнего элемента крепления к основанию (поручню перильного ограждения: а) на обследуемом мосту; б) на аналогичном мосту (фото авторов)

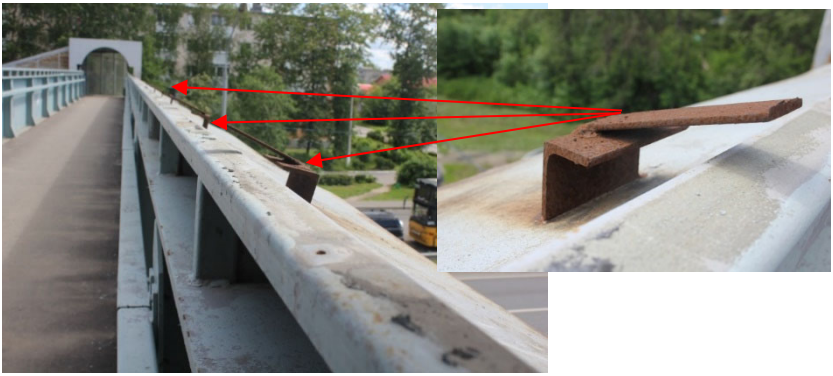


Рис. 7. 11. Дополнительные конструкции для удержания остекления (фото авторов)

Рис. 7.12. Крепление остекления пролетного строения (аналога). Смешение верхней части крепления (фото авторов)

По результатам визуального осмотра, сравнительного анализа конструкции крепления остекления на обследуемом переходе с конструкцией остекления аналогичного сооружения, анализа рабочей документации можно заключить, что причиной обрушения остекления пролетного строения является комплекс факторов: влияние неблагоприятных погодных условий (сильный порыв ветра), конструктивные недостатки (ненадежность узлов крепления), отклонение от проектных решений при производстве работ и неудовлетворительное содержание при эксплуатации сооружения.

7.4. Расчетный анализ

Для оценки воздействия порыва ветра на поведение конструкции остекления пролетного строения было произведено моделирование работы конструкции с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе ПК «Лира-САПР».

7.4.1. Сбор постоянных и временных нагрузок на мостовое сооружение

Расчеты металлоконструкций и поликарбонатного остекления надземного пешеходного перехода на км 92+150 в г. Клин Московской области выполнены в соответствии со следующими основными нормативными документами:

СП 35.13330.2011, СНиП 2.05.03-84* Актуализированная редакция. Мосты и трубы;

СП 16.13330.2011, СНиП II-23-81* Актуализированная редакция. Стальные конструкции;

СП 20.13330.2011, СНиП 2.01.07-85* Актуализированная редакция. Нагрузки и воздействия;

Согласно СП 20.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия) по величине давления ветра район расположения рассчитываемой конструкции характеризуется следующими климатическими характеристиками:

– ветровой район – 1;

– нормативное давление ветра – 23 кг/м^2;

– тип местности «В».

Расчеты надземного пешеходного перехода на действие расчетных нагрузок проведены по первому (по прочности) предельному состоянию.

При расчете конструкций перехода учитывались следующие виды нагрузок:

– масса (собственный вес) металлоконструкций и остекления - поликарбоната «STRONEX» надземного пешеходного перехода;

– временная пешеходная нагрузка (400 кг/м^2), согласно СП 35.13330.2011, СНиП 2.05.03-84* Актуализированная редакция. Мосты и трубы;

– ветровая нагрузка (включающая нормальную и пульсационную составляющие), соответствующая I ветровому району (тип местности В).

Направление ветрового воздействия принято перпендикулярным к одной из боковых сторон перехода.

Ветровые нагрузки собраны в соответствии с СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия (п. 11).

Расчёт надземного пешеходного перехода выполнен на действие постоянных и временных нагрузок, представленных в таблице 11. Вес металлоконструкций и остекления из поликарбоната «STRONEX» принимался по фактическому весу в соответствии с чертежами рабочей документации (2002.9-2-2 «Надземный пешеходный переход на

км 92+150 автомобильной дороги Москва – С-Петербург в г. Клин Московской области»). Технические характеристики по сборному поликарбонату «STRONEX» принимались по представленной эксплуатирующей организацией информации.

Коэффициенты надежности по нагрузке для постоянной и временной нагрузок определены по пп. 7.2, 7.3, 11.1.2 СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия и п. 6.23 СП 35.13330.2011, СНиП 2.05.03-84* Актуализированная редакция. Мосты и трубы.

Геометрические характеристики металлоконструкций пролетного строения и остекления из поликарбоната «STRONEX» приняты в соответствии с рабочей документацией и предоставленной эксплуатирующей организацией информацией. Материал металлоконструкций пролетного строения – сталь 15ХСНД по ГОСТ 6713-91 и сталь Ст3сп5 по ГОСТ 27772-88. Плотность стали – 7.85 г/см^3.

Плотность поликарбоната «STRONEX» – 1.2 г/см^3. Предел прочности при растяжении – 60 Мпа. Предел прочности при изгибе – 95 Мпа. Модуль упругости – 2250 Мпа. Коэффициент Пуассона – 0.45.

В программном комплексе «Лира-САПР» были смоделированы основные несущие элементы надземного пешеходного перехода. Собственный вес вспомогательных элементов металлоконструкций перехода учтен в виде дополнительной распределенной нагрузки, приложенной к несущим элементам.

Смоделированный таким образом вес конструкций надземного пешеходного перехода соответствует весу конструкций перехода в рабочей документации.

Ветровая нагрузка на конструкции перехода определялась в соответствии с п. 11 и приложением Д.1.3 СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. При определении эквивалентной высоты z_e по п. 11.1.5 СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия высота сооружения h определялась по формуле $h = h_1 + 0.7f$ (рис. 7.13).

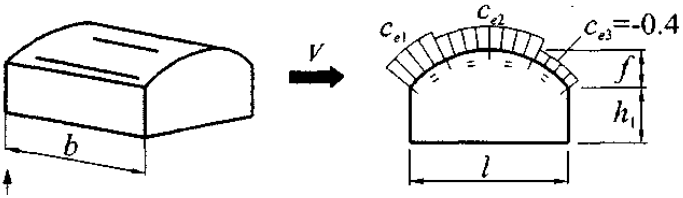


Рис. 7.13. Схема к определению эквивалентной высоты

Рассчитанные значения ветровой нагрузки приведены в таблице, которую можно найти в статье [143]. На рисунке 7.14 приведена конечно-элементная расчетная схема надземного пешеходного перехода с остеклением.

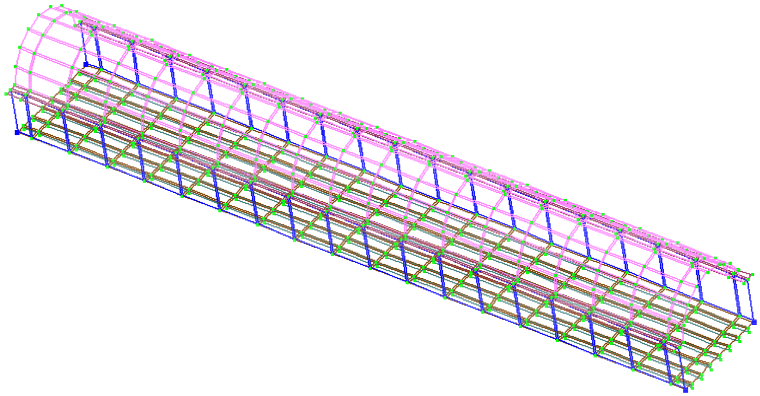


Рис. 7.14. Расчетная схема надземного пешеходного перехода с остеклением (составлена авторами)

7.4.2. Предпосылки расчета

Расчет выполнялся методом конечных элементов в перемещениях. В качестве основных неизвестных приняты следующие перемещения узлов: X линейное по оси X, Y линейное по оси Y, Z линейное по оси Z, UX угловое вокруг оси X, UY – угловое вокруг оси Y, UZ – угловое вокруг оси Z. Ось Z условно принята за вертикальную ось.

Расчет производился на следующие нагрузки: загружение 1 – собственный вес конструкций надземного пешеходного перехода и пешеходная нагрузка; загружение 2 – ветровая статическая нагрузка; загружение 3 – ветровая нагрузка с учетом пульсации (динамическая ветровая нагрузка). В расчете учитывается заданное количество форм собственных колебаний (KF). Кроме динамических составляющих (количество которых ограничено предельной нормативной частотой для данного ветрового района), по которым раскладывается ветровая нагрузка, определяются величины статической составляющей ветровой нагрузки. Все сечения элементов мостового сооружения приняты согласно чертежам КМ, предоставленных эксплуатирующей организацией. Все элементы конструкции перехода в расчете приняты без учета условий, снижающих их несущую способность, то есть полагается, что элементы конструкции не гнутые, коррозия отсутствует. Расчетная схема включает следующие типы элементов: тип 41 – универсальный прямоугольный КЭ оболочки и тип 44 – универсальный четырехугольный КЭ оболочки. Жесткостные характеристики элементов приняты согласно рисунку 7.15.

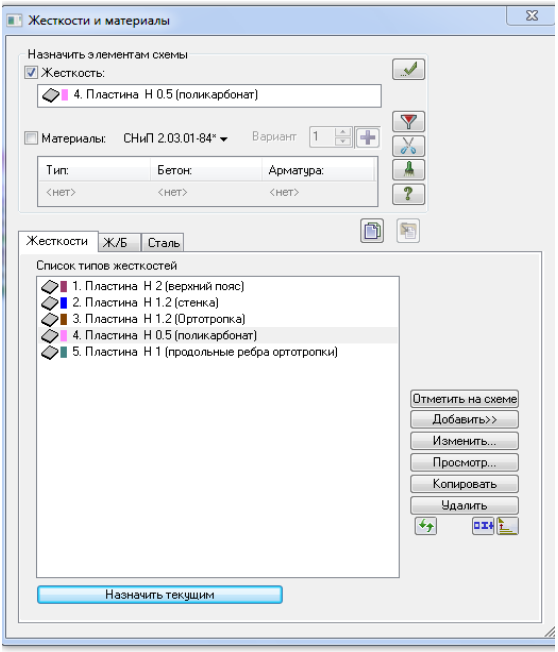


Рис. 7.15. Жесткостные характеристики сечений элементов (составлен авторами)

Для моделирования нагрузки от собственного веса конструкций пешеходного перехода использована стандартная функция ПК Лира-САПР для добавления собственного веса смоделированного сечения, при этом для расчетной нагрузки введен коэффициент надежности 1.1. Для упрощения расчетной модели вес вспомогательных конструкций, а также вес металлоконструкций, не участвующих в работе пролетного строения на изгиб в середине пролета, приложены с учетом коэффициента надежности 1.1 к несущим элементам в виде распределенной нагрузки.

Вес покрытия прохожей части прикладывается виде распределенной нагрузки по ортотропной плите: $0{,}06\ м \cdot 1{,}6\ т/м^3 \cdot 1{,}5 = 0{,}144$ т/м^2, где 0,06 м – толщина покрытия, 1,6 т/м^3 – объемный вес материала покрытия, 1,5 – коэффициент запаса по п. 6.10 табл. 6.4 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНИП 2.05.03-84*».

Пешеходная нагрузка прикладывается к ортотропной плите в виде распределенной нагрузки: $0{,}4\ т/м^2 \cdot 1{,}2 = 0{,}480$ т/м^2, где 0,4 т/м^2 – распределенная нагрузка от пешеходов по п. 6.21 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНИП 2.05.03-84*», 1,2 – коэффициент запаса по п.6.23 г табл.6.4 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНИП 2.05.03-84*».

Ветровая нагрузка прикладывается к элементам расчетной схемы мостового сооружения с коэффициент надежности γ_f=1.4.

7.4.3. Результаты расчета

Результаты расчета, полученные с использованием программного комплекса Лира-САПР приведены на рисунках 7.16–7.21.

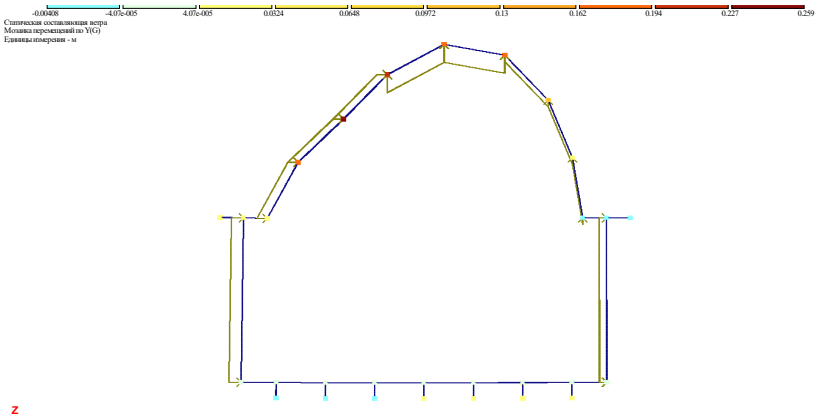


Рис. 7.16. Перемещения от статической составляющей ветровой нагрузки. Перемещение узла 515 (середина пролета, поликарбонат с наветренной стороны) по оси Y вправо на 259 мм. (Составлен авторами)

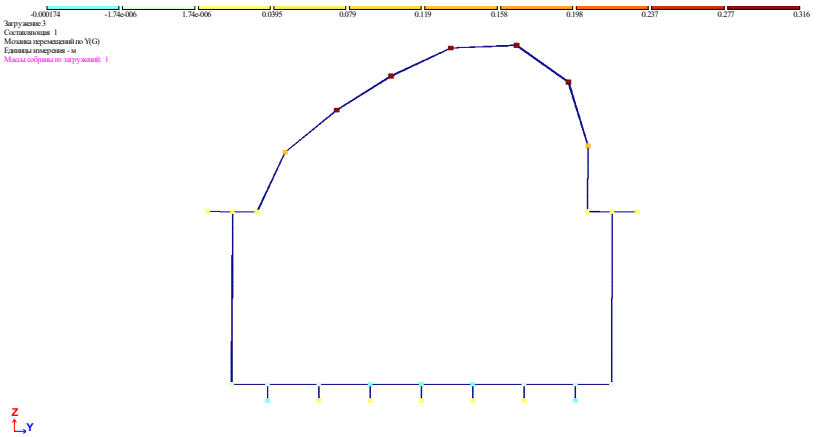


Рис. 7.17. Перемещения от динамической составляющей ветровой нагрузки (фаза 1). Перемещение узла 515 (середина пролета, поликарбонат с наветренной стороны) по оси Y вправо 316 мм. (Составлен авторами)

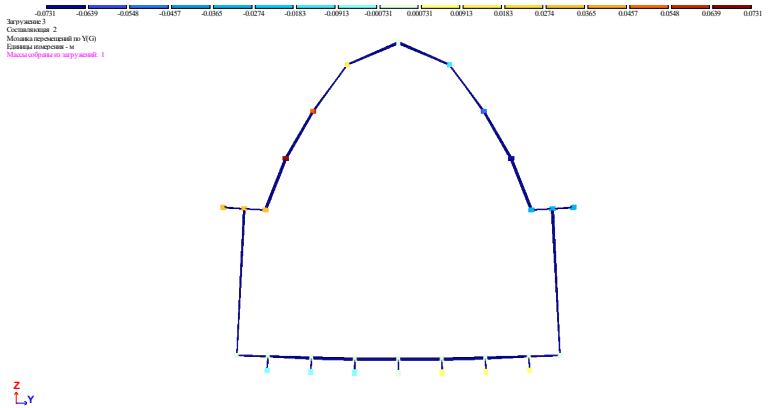


Рис. 7.18. Перемещения от динамической составляющей ветровой нагрузки (фаза 2). Перемещение узла 515 (середина пролета, поликарбонат с наветренной стороны) по оси Y вправо 73,1 мм. (Составлен авторами)

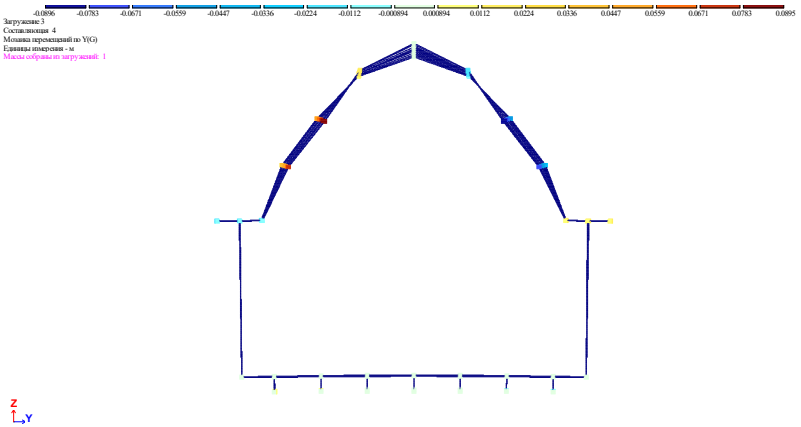


Рис. 7.19. Перемещения от динамической составляющей ветровой нагрузки (фаза 4). Перемещение узла 511 (середина пролета, поликарбонат с наветренной стороны) по оси Y вправо 89,6 мм. (Составлен авторами)

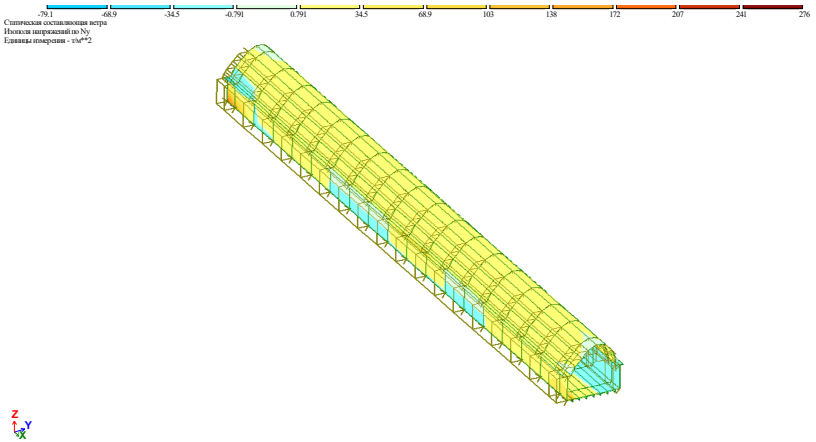


Рис. 7.20. Эпюра усилий Ny от статической составляющей ветровой нагрузки. Максимальное усилие в элементе 458 (середина пролета, поликарбонат с наветренной стороны) N= 5.93582 т/м^2. (Составлен авторами)

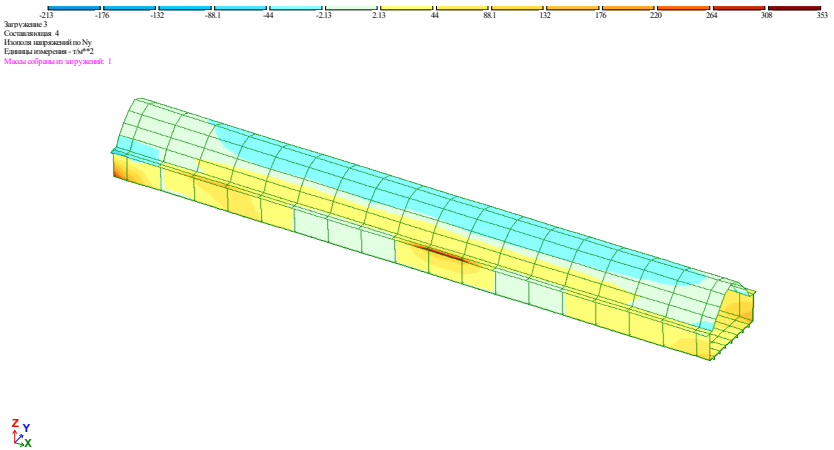


Рис. 7.21. Эпюра усилий Ny от динамической составляющей ветровой нагрузки. Максимальное усилие в элементе 458 (середина пролета, поликарбонат с наветренной стороны) N= 7.8551 т/м^2. (Составлен авторами)

7.4.4. Анализ напряженно-деформированного состояния остекления из поликарбоната

Для анализа напряженного состояния из общего короба остекления была мысленно вырезана самая нагруженная секция, расположенная в середине пролета и рассмотрено ее деформированное состояние. На рис. 7.22 показана эпюра деформаций секции поликарбоната. На рис. 7.23 показана эпюра продольных усилий, построенная на деформированной схеме секции.

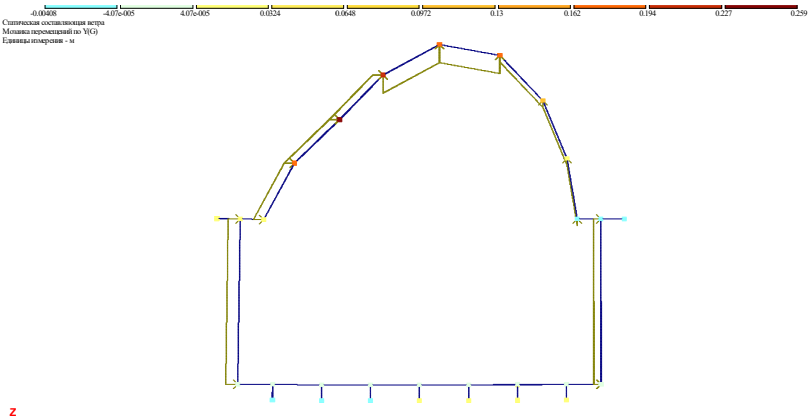


Рис. 7.22. Эпюра деформаций секции из поликарбоната (составлен авторами)

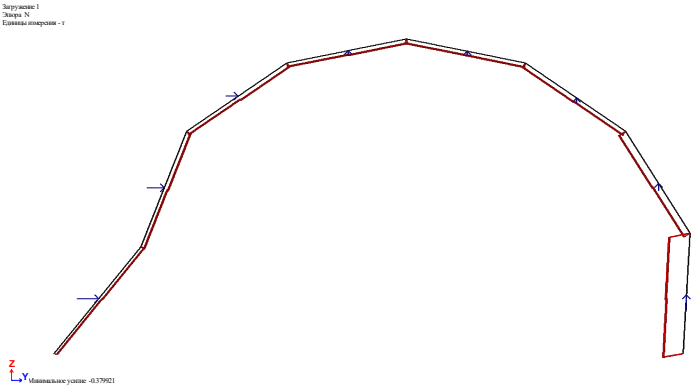


Рис. 7.23. Эпюра продольных усилий N секции в плоской модели, построенная на деформированной схеме анализируемой секции (составлен авторами)

Реакции на левой опоре – 60,1 кг (на 2 зажима) и правой – 379,9 кг (на 2 зажима).

В результате расчета установлено, что максимальные напряжения в окружном направлении от изгиба листа поликарбоната равны:

$$\sigma_y = \frac{M}{W} = \frac{367\ \text{кг} \cdot \text{см}}{4.16\ \text{см}^3} = 88.2\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Но, кроме изгибных деформаций, лист поликарбоната испытывает и продольные деформации, которые приводят к появлению цепных напряжений, равномерно распределенных по толщине листа поликарбоната. Найдем эти дополнительные цепные напряжения в поликарбонате. Расчет в ПК Лира-САПР показывает, что на длине листа 0,47 м удлинение составляет 0.0157 м. (рассматривалась первая слева (рис. 7.22) пластина из поликарбоната, имеющая закрепление к конструкции мостового сооружения). Согласно закону Гука:

$$\Delta l = \frac{\sigma \cdot l}{E}\ ,$$

где l – длина пластины (0,47 м), Δl – удлинение пластины под нагрузкой, E – модуль упругости (22500 кг/см^2).

Отсюда:

$$\sigma = \frac{\Delta l \cdot E}{l} = \frac{1{,}57\ \text{см} \cdot 22500\ \text{кг/см}^2}{47\ \text{см}} = 751{,}6\ \text{кг/см}^2$$

Определим результирующие напряжения в поликарбонате и сравним их с допускаемыми напряжениями:

$$\sigma = 88{,}2 + 751{,}6 = 839{,}8\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \le \gamma_f \cdot R = 0.9 \cdot 600\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 540\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

$$839{,}8\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} > 540\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Аналогично выполним расчеты для остальных пластин поликарбоната и сведем результаты расчета в таблицу.

Таблица

Расчет суммарных напряжений в пластинах из поликарбоната и проверка условия прочности (составлена авторами)

Удлинение (укорочение), м	Дополнительные напряжения в поликарбонате от деформации, кг/см^2	σ, кг/см^2	σ результирующая, кг/см^2	Примечание
0.01173699	**564.4**	**88.2**	**652,6**	**Условие прочности не выполняется**
0.00642607	308.3	**88.2**	396,5	
0.02350564	**1123.6**	**88.2**	**1218,8**	**Условие прочности не выполняется**
-0.0010633	-52.1	**88.2**	36,1	

Продолжение таблицы

Удлинение (укорочение), м	Дополнительные напряжения в поликарбонате от деформации, кг/см^2	σ, кг/см^2	σ результирующая, кг/см^2	Примечание
0.01091973	**529.1**	**88.2**	**617,3**	**Условие прочности не выполняется**
-0.0210331	**-1011.4**	**88.2**	**-923,2**	**Условие прочности не выполняется**
0.03495106	**1666.1**	**88.2**	**1754,3**	**Условие прочности не выполняется**

Вывод: условие прочности по первому предельному состоянию не выполняется почти у всех пластин, разрушение которых потянуло за собой последующее разрушение и остальных пластин поликарбоната и разрушение всего остекления мостового сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии приведен далеко не полный перечень причин аварий и катастроф мостовых сооружений с примерами.

Что же касается причин аварий мостовых сооружений, то можно сказать, что во всех случаях сочетается негативное действие нескольких факторов. Причем в ряде случаев очень трудно или невозможно точно определить причину аварии, что было бы полезно для профилактики наступления аварийных ситуаций на подобных объектах в будущем.

В то же время можно с определенностью утверждать, что при авариях металлических мостовых сооружений происходит потеря устойчивости либо отдельных элементов, либо всей конструкции (в силу тонкостенности составляющих элементов).

Что же касается железобетонных мостовых сооружений, представляющих подавляющую часть транспортных сооружений в мире, то здесь следует отметить: стохастический характер внешних воздействий на сооружения (как силовых, так и средовых) и их взаимосвязь и взаимовлияние; статистический разброс механических характеристик материалов и геометрических параметров элементов конструкций; изменчивость внешних воздействий и механических свойств материалов во времени.

Снижение аварийности мостовых сооружений может быть достигнуто повышением качества нормативной документации, проектных и строительно-монтажных работ, повышением качества содержания мостовых сооружений с учетом накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации, включая изучение происшедших аварий.

Определенная 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. В некоторых документах содержится требование по недопущению прогрессирующего обрушения мостов, но о том, как это требование применительно к мостам выполнить, ни слова.

Приводятся соображения 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.

Инженеры стараются избегать наступления аварийных ситуаций в мостовых сооружениях, а в случае разрушения исследуют причины наступления аварийных ситуаций и разрабатывают способы предотвращения таких случаев. При разработке 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:

– перерывам 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;

– проведению 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.

В учебном пособии примеры аварий мостовых сооружений были объединены в следующие группы:

– вызванные недоучетом ветровой нагрузки и аэродинамической неустойчивостью;

– вызванные потерей устойчивости элементов;

– ошибками в технологии ведения строительно-монтажных и ремонтных работ;

– вызванные перегрузкой несущих конструкций;

– наступившие вследствие резонанса или усталости материала;

– наступившие вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды;

– вследствие недостаточной надежности и расстройства соединений;

– по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки;

– по причине отсутствия технического надзора;

– вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений;

– по причине навала судов на опоры мостов;

– по причине воздействий на конструкции моста экстремальных (форс-мажорных) нагрузок (столкновение с авиационной техникой,

скоростным поездом, пожар, торнадо, диверсия, повреждения в результате аварий проложенных по ним коммуникациям и т.п.);

– вызванные ошибками в расчетах, использованием некачественного материала.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реестр аварий зданий и сооружений 2001–2020 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махутов, Г.А. Павлова [и др.]. – М., 2011. – 320 с.

2. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: Монография / под ред. В.И. Теличенко, К.И. Еремина. – М., 2011. – 428 с.

3. Пономарев В.П. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений / В.П. Пономарев, В.И. Травуш, В.М. Бондаренко [и др.] // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – 2012. – С. 1–9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pamag.ru/pressa/bss-pse.

4. Енджиевский Л.В. История аварий и катастроф: монография / Л.В. Енджиевский, А.В. Терешкова. – Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2013. – 440 с.

5. Borjan Alesson. Understanding Bridge Collapse. – London, UK: Taylor & Francis Group, 2008. – 282 p.

6. Scheer, Joachim, Failed bridges: case studies, causes and consequences. – Berlin: Ernst & Sohn, 2010. – 321 p.

7. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Кн. 1 / под ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева; В.А. Котляревский, К.Е. Кочетков, А.А. Носач [и др.]. – М.: АСВ, 1995. – 320 с.

8. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Кн. 2 / под ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева; В.А. Котляревский, А.В. Виноградов [и др.]. – М.: АСВ, 1996. – 384 с.

9. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Кн. 3 / под ред.: В.А. Котляревского, А.В. Забегаева; В.А. Котляревский, А.В. Забегаев, А.А. Носач [и др.]. – М.: АСВ, 1998. – 416 с.

10. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Кн. 4 / под ред.: В.А. Котляревского, А.В. Забегаева; В.А. Котляревский, А.В. Забегаев, Ю.Н. Глазунов [и др.]. – М.: АСВ, 1998. – 208 с.

11. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Кн. 5 / под ред.: В.А. Котляревского, А.В. Забегаева; В.А. Котляревский, А.М. Аверченко, А.В. Забегаев [и др.]. – М.: АСВ, 2001. – 416 с.

12. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учебное пособие. Кн. 6 / под ред.: В.А. Котляревского; В.А. Котляревский, Р.Д. Октябрьский, И.Е. Синицына [и др.]. – М.: АСВ, 2003. – 408 с.

13. Леденев В.В. Аварии в строительстве. Т. 1: Причины аварий и сооружений: учебное пособие для магистрантов направления 270100.68 «Строительство» / ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов, 2014. – 210 с.

14. Леденёв В.В. Аварии, разрушения и повреждения. Причины, последствия и предупреждения: монография / В.В. Леденёв, В.И. Скрылёв. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2017. – 440 с.

15. Першаков В. М. Проблеми протидії конструкцій прогресуючому обваленню будівель та споруд: монографія / В.М. Першаков, М.С. Барабаш, А.О. Бєлятинський [и др.]. – Киев: Изд-во НАУ, 2015. – 456 с.

16. Дмитриев Ф.Д. Крушения инженерных сооружений. Историко-технические очерки. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. – 188 с.

17. Пассек В.В. Обрушения мостовых сооружений за рубежом. – М., 1970. – 27 с.

18. Власов С.Н. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов / С.Н. Власов, Л.В. Маковский, В.Е. Меркин: при участии: А.Э. Куплиса, В.Ф. Сарабеева, В.В. Торгалова. – М.: ТИМР, 1997. – 181 с.

19. Перевозчиков Б.Ф. Защита опор мостов от навала судов / Б.Ф. Перевозчиков, В.А. Селиверстов // Автомобильные дороги. Обзорная информация. – 2000. – №4.

20. Уолмут Б. Аварии пешеходных мостов / Б. Уолмут, Д. Сертиз // Мостостроение мира. – 2004. – №1–2. – С. 69–77.

21. Овчинников И.Г. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура / И.Г. Овчинников, Г.С. Дядченко. – Саратов: Изд-во Сара. гос. тех. ун-та, 2005. – 227 с.

22. Платонов А.С. Уроки аварий металлических конструкций мостов // Транспортное строительство. – 2009. – №6. – С. 6–9.

23. Еремеев В.П. Аварии мостов: причины и меры предупреждения. – Казань: Изд-во КИСИ, 1994. – 75 с.

24. Еремеев В.П. Предельные и аварийные состояния мостов. – Казань: Изд-во КГАСА, 1997. – 159 с.

25. Овчинников И.Г. Причины аварий и повреждений конструкций транспортных сооружений / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, Е.В. Атаева. // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Ч. 2 / редкол.: В.Т. Ерофеев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – С. 444–452.

26. Овчинников И.Г. Анализ причин аварий и повреждений транспортных сооружений / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Транспортное строительство. –2010. – №7. – С. 2–5.

27. Мирошник В.А. Проблемы аварийности мостовых конструкций / В.А. Мирошник, С.В. Ключник, М.К. Журбенко // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика. ДИИТ. – 2012. – С. 55–59.

28. Кокодеев А.В. Обеспечение безаварийной эксплуатации мостов и других транспортных сооружений путем обследования и мониторинга их подводных частей: состояние проблемы в России / А.В. Кокодеев, И.Г. Овчинников // Транспорт. Транспортные Сооружения. Экология. Вестник ПНИПУ. – 2015. – №1. – С. 69–87.

29. Майстренко И.Ю. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ из причин. Ч. 1 / И.Ю. Майстренко, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2017. – Т. 4, №4. – DOI: 10.15862/13TS417 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf

30. Овчинников И.Г. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ из причин. Ч. 2 / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, И.Ю. Майстренко [и др.] // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2017. – Т. 4, №4. – DOI: 10.15862/14TS417 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf

31. Майстренко И.Ю. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Ч. 3 / И.Ю. Майстренко, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – №1. – С. 1–41. – DOI: 10.15862/08SATS118 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://t-s.today/PDF/08SATS118.pdf

32. Овчинников И.И. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Ч. 4 / И.И. Овчинников, И.Ю. Майстренко, И.Г. Овчинников [и др.] // Транспортные сооружения. – 2018. – №1. – С. 1–25 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf

33. Azmat Hussain and Sumaira Jan, Bridges Failures in Extreme Flood Events by Taking a Case Study // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2016. – №7 (5). – Pp. 222–231.

34. Brandon W. Chavel and John M. Yadlosky. Framework for Improving Resilience of Bridge Design. Publication No. FHWA-IF-11-016. – January 2011. – 75 p.

35. Safety assessment of existing buildings and structures. – Magnitogorsk: Open company "WELD"; 2014. – 265 p.

36. Волков А.А. Расчеты конструкций зданий на прогрессирующее обрушение в условиях чрезвычайных ситуаций. Общие основания и оптимизация проекта / А.А. Волков, М.С. Вайнштейн, Р.Ф. Вагапов // Вестник МГСУ. – 2008. – №1. – С. 388–392.

37. Алмазов В.О. Сопротивление прогрессирующему разрушению: расчеты и конструктивные мероприятия // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений». – 2009. – №1 (XXVI). – С. 179–194.

38. Грачев В.Ю. Непропорциональное разрушение. Сравнение методов расчета / В.Ю. Грачев, Т.А. Вершинина, А.А. Пузаткин. – Екатеринбург: Ажур, 2010. – 81 с.

39. Ghali, A., and Tadros, G. Bridge progressive collapse vulnerability // Journal of Structural Engineering. – 1997. – №123 (2). – Pp. 227–231.

40. Starossek, U. (1999). Progressive collapse study of a multi-span bridge // IABSE, Structural Engineering International. – 1999. – №9 (2). – Pp. 121–125 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://server.sh.tu-harburg.de/starossek/Index.htm

41. Starossek, U. Progressive Collapse of Bridges -Aspects of Analysis and Design // Invited Lecture, International Symposium on Sea-Crossing Long-Span Bridges. – Mokpo, Korea, Feb. 15-17, 2006. – Pp. 1–22.

42. Ерёмин К.И. Методика экспериментальных исследований блоков покрытий промышленных зданий при аварийных воздействиях / К.И. Ерёмин, С.А. Матвеюшкин, Г.А. Арутюнян // Вестник МГСУ. – 2015. – №12. – С. 34–46.

43. Allen D.E., Schriever W.R. Progressive collapse. Abnormal loads and building codes // Proc. Am. Soc. Civ. Eng. National Meeting on Struct. – Eng., Clevelend, Ohio. Apr. 1972. – Pp. 21–47.

44. Taylor D.A. Progressive collapse // Canadian Journal of Civil Engineering. – Dec. 1975. – Vol. 2. No. 4. – Pp. 517–529.

45. 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.

46. 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.

47. Махутов Н.А. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / Н.А. Махутов, О.И. Лобов, К.И. Еремин. – М.: Знание, 2012. – 798 с.

48. Lebeau K.H. and Wadia-Fascetti S.J. Fault tree analysis of Schoharie creek bridge collapse // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 2007. – Vol. 21. No. 4. – Pp. 320–326.

49. Astaneh-Asl A. 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.

50. Wibowo H., Reshotkina S.S. and Lau D.T. Modeling progressive collapse of RC bridges during earthquakes // Proceedings of the CSCE Annual General Conference, GC-176-1-GC-176-10. – May, 2009.

51. Xu Z., Lu X., Guan H., Lu X., and Ren A. 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.

52. 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.

53. 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. – Pp. 1997–2000.

54. Травуш В.И. 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» / В.И. Травуш, Ю.С. Волков // Вестник МГСУ. – 2014. – №3. – С. 7–14.

55. Клюева Н.В. К анализу исследований живучести конструктивных систем при запроектных воздействиях / Н.В. Клюева, А.С. Бухтиярова, Н.Б. Андросова // Строительство реконструкция. Орел ГТУ. – 2009. – №4/24 (572). – С. 15–21.

56. Hal, S. A note of the I-35W bridge collapse / S. Hal // Journal Bridge Engineering. – 2010. –Vol. 15 (5). – Pp. 608–614.

57. 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.

58. 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).

59. 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.

60. Вуколов С.А. Обеспечение живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах в современных условиях / С.А. Вулколов, О.Р. Бирюков, Д.Ю. Кравец // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения. – 2016. – №1 (5). – С. 46–50.

61. Обеспечение защищенности автомобильных мостов от актов незаконного вмешательства: учеб. пособие / Ю.В. Трофименко, Т.Ю. Григорьева, Г.И. Евгеньев [и др.]; под ред. Ю.В. Трофименко. – М.: МАДИ, 2014. – 172 с.

62. Каганов Г.М. Обследование гидротехнических сооружений при оценке их безопасности / Г.М. Каганов, В.И. Волков, О.Н. Черных. – М.: Изд-во МГУП, 2001. – 60 с.

63. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. Научный обзор / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, Е.И. Шкуланов [и др.]. – Новочеркасск: Изд-во РосНИИПМ, 2011. – 105 с.

64. Разработка и создание комплекса мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений / Ш. Талипов, А. Юрченко, М. Оспанов [и др.]. – Алматы, 2013. – 85 с.

65. Ívar Björnsson. Robust design of bridges – Robustness analysis of Sjölundaviadukten Bridge in Malmö. Master Thesis. Report no. TVBK-5179. Division of Structural Engineering Lund Institute of Technology Lund University, 2010. – 114 p.

66. SPOTH, T. VIOLA, J. MOLINA, A. CONDELL, S. The New Tacoma Narrows Bridge – From Inception to Opening // In: Structural Engineering International. – February, 2008. – V. 18, N. 1. – Pp. 24–27.

67. Galambos, T.V. The safety of bridges // NAE, The Bridge. – 2008. – Vol. 32 (2). – Pp. 20–25.

68. Stempfle, H.; Vogel, T. A concept to evaluate the robustness of bridges // Workshop paper, JCSS and IABSE Workshop on Robustness of Structures, Building Research Establishment, Garston. – Watford, UK, 2005. November 28–29.

69. Wardhana, K.; Hadipriono, F.C. Analysis of Recent Bridge Failures in the United States // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 2003. – Vol. 17, No. 3.

70. Wisniewski, D., Casas, J.R., Ghosn, M. Load capacity evaluation of existing railway bridges base on robustness quantification // Structural Engineering International. – 2006. – №16 (2). – Pp. 161–166.

71. Вантовые мосты / А.А. Петропавловский, Е.И. Крыльцов, Н.Н. Богданов [и др.]; под ред. А.А. Петропавловского. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.

72. Барановский А.А. Мосты больших пролетов. Проектирование висячих и вантовых мостов: курс лекций. – СПб.: Типография «Максимус», 2005. – 272 с.

73. Лащенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1969. – 184 с.

74. Овчинников И.И. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Ч. 1: Причины / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, В.О. Филиппова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, №6. – DOI: 10.15862/07KO615 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/07KO615.pdf

75. Ясинский Ф.С. Опыт развития продольного изгиба. – СПб., 1893.

76. Шкинев А.Н. Аварии в строительстве. – М.: Стройиздат, 1984. – 324 с.

77. Wittfoht h. Ursachen fur den Teil-Einsturz des “Viadot - to Cannavino bei Agro di Celico // Beton und Stahlbetonbau. – 1983. – №2.

78. Seible F. Caupling Joints of Prestressing Tendonf in Continous Post-Tensioned Concrete Bridges // Transp. Res. Rec. – 1985. – №1044.

79. Seible F. Caupling Joints of Prestressing Tendonf in Continous Post-Tensioned Concrete Bridges // Transp. Res. Rec. – 1985. – №1044.

80. Сашурин А. Почему мост «опустил крылья» // Журнал «ТехНАДЗОР» от 08.04.2010.

81. PR Lewis, Disaster on the Dee: Robert Stephenson’s Nemesis of 1847. – Tempus Publishing, 2007. – ISBN 978-0-7524-4266-2.

82. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания / И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров [и др.]. –Саратов: Кубик, 2014. – 504 с.

83. Корнеев М.М. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию. – Киев, 2003. – 547 с.

84. Плюхин Е.В. Мосты повисли над водами / Е.В. Плюхин, А.Л. Пунин. – Ленинград: Аврора, 1975.

85. Коган М.И. Исповедь строптивого адвоката. – М.: Изографус, 2002. – С. 246–253.

86. Якубик А. История / пер. с польского. – М., 1982.
87. Антонов Б.А. Мосты Санкт-Петербурга. – СПб.: Глагол, 2002.
88. Temporary Span Erected at Connecticut Bridge Collapse Site // Public Works. – 1983. – №114.
89. Голов А.Д. Деформация раскосов ферм Мозырского железнодорожного моста. – Изд-во НКПС, 1925.
90. Hauck George F.W. Hyatt-Regency Walkway Collapse: Design Alternates // J. Struct. Eng. – 1983. – №11.
91. 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.
92. Мюллер Г. Катастрофы Романовского моста. – Зеленодольск: «Наш Зеленый Дол» от 28 марта 2008 г.
93. Дальневосточная магистраль России / сост.: В.Ф. Буркова, В.Ф. Зуев. – Хабаровск: Частная коллекция, 1997. – ISBN 5-7875-0002-4.
94. Хобта А.В. Обвалам не счесть числа, а селям нет преград [Электронный ресурс]. – Режим доступа: kbzd.irk.ru.
95. Хобта А.В. КБЖД – памятник инженерного искусства и уникального ландшафта // Земля Иркутская. – 2002. – №2.
96. Большой Петровский мост // Дорожная держава: журнал. – 2010. – №28.
97. Казимова М. Под Алапаевском из-за ледохода разрушен мост. – Екатеринбург: «Новый Регион» от 18 апреля 2009 г.
98. Knott M.A. Vessel collision design codes and experience in the United States // Proceedings of the International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis, Copenhagen (Denmark), 10-13 May 1998. – Rotterdam (Brookfield): A.A. Balkema, 1998. – Pp. 75–84.
99. Frandsen A.G. Accidents involving bridges. IABSE Colloquium. Copenhagen, 1983. – In book: Ship Collision with Bridges and Offshore Structures: IABSE report. – Vol. 41. – Zurich, 1983. – P. 11–26.
100. Giant platform bashes bridge // Engineering News Record. – 1998. – January 26. – Pp. 28.
101. Гулицкая Л.В. Анализ техногенных рисков при строительстве и эксплуатации мостов в Республике Беларусь / Л.В. Гулицкая, Н.Н. Кущ, О.С. Шиманская / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2010. – С. 77–79.
102. Энциклопедический справочник «Киев» / под ред. А.В. Кудрицкого. – Киев: Главная редация Украинской Советской Энциклопедии, 1982. – С. 637–638.
103. Кессельринг А. Люфтваффе: триумф и поражение. Воспоминания фельдмаршала Третьего рейха. 1933–1947 / пер. с англ. Л.А. Игоревского – М.: ЗАО Центрполиграф, 2003. – 494 с.

104. Харебава Ж.А. Внеклассные автодорожные мосты Нижневолжского региона / Ж.А. Харебава. С.П. Фанин, И.Г. Овчинников [и др.]. – Саратов: Наука, 2008. – 360 с.

105. Овчинников И.Г. Применение инновационных решений в практике проектирования строительства и эксплуатации мостовых сооружений Поволжского региона // Наука: 21 век. – 2011. – №1 (13). – С. 36–43

106. Пшеничников С.К. О причинах колебаний пролетного строения руслового моста через р. Волгу // Вестник мостостроения. – 2011. – №1, спецвыпуск. – С. 37–38 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vz.ru/society/2011/3/24/478050.print.html (дата обращения: 06.11.2015).

107. Рутман Ю.Л. Причины колебаний моста в Волгограде / Ю.Л. Рутман, В.А. Мелешков // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №3. – С. 55–58.

108. Инженерно-технический журнал Ansys Solutions. Строительство. – М.: Русская редакция, 2007. – 52 с.

109. Методическое руководство по ANSYS 12.1. 2010.

110. Боровик В.С. Характеристика колебаний пролетного строения моста через Волгу в сложных инженерно-геологических условиях / В.С. Боровик, В.Н. Синяков, Ю.Е. Прокопенко // Вестник Вол-гогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архит. – 2012. – Вып. 26 (45). – С. 68–76.

111. Волгоградский мост. Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Волгоградский_мост (дата обращения: 14.11.2011).

112. Письмо Штаба Южного военного округа МО РФ №26\312 от 16.12.2010.

113. Вильчинская Н.А. Акустическая эмиссия и спектр сейсмических сигналов / Н.А. Вильчинская, В.Н. Николаевский // Известия АН СССР. Физика земли. – 1984. – №5.

114. Особенности конструкций мостов в сейсмических районах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hw-nsk.ru/load/4-1-0-319 (дата обращения: 14.11.2011).

115. Лобановский Ю.И. Дело о танцующем мосте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.synerjetics.ru/article/flutter.htm (дата обращения: 14.11.2011).

116. Миргородский А. Эффект шимми и другие примеры проявления темной энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mirgorodsky.ru/effekt-shimmi/(дата обращения: 06.11.2015).

117. Уровень воды в Волге в районе Волгоградского водохранилища упал до небывалых размеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ribkam.ru/news/uroven_vody_v_volge_v_rajone_volgogradskogo_vodokhranilishha_upal_do_nebyvalykh_razmerov/2010-06-09-34 (дата обращения: 06.11.2015).

118. Наумова Г.А. Гидродинамический способ гашения колебаний мостовых пролетов / Г.А. Наумова, С.А. Пономаренко // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – №6 (35). – С. 51–59.

119. Наумова Г.А. Гидродинамический гаситель мостовых колебаний / Г.А. Наумова, В.В. Саманов, С.А. Пономаренко // Вестн. Волгогр. Гос. Ун-та. Сер. 10, Иннов. Деят. – 2012. – Вып. 7. – С. 93–98.

120. Наумова Г.А. Решения проблемы аэродинамической неустойчивости балочных неразрезных мостов / Г.А. Наумова, С.А. Пономаренко // Дорожная держава. – 2013. – №50. – С. 30–34.

121. Пономаренко С.А. Прочностной расчет плиты поршня гидродинамического гасителя колебаний балочных неразрезных мостов / С.А. Пономаренко // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – №5 (24) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nauko vedenie.ru /PDF/24KO514.pdf

122. Shigeki Kusuhara, Ikuo Yamada, Naoki Toyama. Reevaluation on aerodynamic stability of steel box girder // The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (November 8-12, 2009, Taipei, Taiwan).

123. Miyata T., Yamada H., Yokoyama K., Kanazaki T., Iijima T. and Tatsumi M. (1991), “Construction of Boundary Layer Wind Tunnel for Long-span Bridges”, Eighth International Conference On Wind Engineering (Ontario, Canada, July 8~12).

124. Upstone J. and Reily D., "Construction of the navigation spans of the Rio – Niterói bridge, Brazil", Proc. Institution of Civil Engineers. – May, 1979. – Part 1, Vol. 66. – Pp. 227–246.

125. Battista, R. C. Multiple Synchronized Dynamic Attenuators of Wind-induced Oscillations of Rio-Niteroi Bridge // Society of Experimental Mechanics. Access mode: http://sem-proceedings.com/23i/sem.org-IMAC-XXIII-Conf-s08p02-Multiple-Synchronized-Dynamic-Attenuators-Wind-induced-Oscillations

126. Robinson R. and Savage M.G., Wind tunnel investigation of the President Costa e Silva bridge, Rio de Janeiro, Brazil / Laboratory Technical Report LTR-LA-311. – National Aeronautical Establishment, National Research Council Canada, Ottawa, March, 1989.

127. Battista, R.C., Pfeil, M.S., Active-Passive control of vortex-induced oscillations of Rio-Niterói bridge, EURODYN’96, Proceedings of the Third European Conference on Structural Dynamics, Structural Dynamics. – Vol. 1. – Pp. 561–567, Florence, Italy, June 1996; A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, 1996.

128. Разработка проектной документации на капитальный ремонт первого пускового комплекса первой очереди мостового перехода через р. Волга в г. Волгограде. – М.: Гипротрансмост, 2011. – 688 с.

129. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 110 с.

130. Леденев В.В. Предупреждение аварий / В.В. Леденев, В.И. Скрылев. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 238 с.

131. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – Киев: Сталь, 2002. – 600 с.

132. Диагностика мостовых сооружений / И.Г. Овчинников, В.И. Кононович, О.Н. Распоров [и др.]; под общей ред. И.Г. Овчинникова. – Саратов: Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2003. – 181 с.

133. Добромыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: справочное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 256 с.

134. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский [и др.]; под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: АСВ, 2007. – 482 с.

135. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации: монография / Е.К. Борисов, С.Г. Алимов, А.Г. Усов [и др.]. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2007. – 128 с.

136. Попов В.И. Городские мосты и транспортные развязки. – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2009. – 145 с.

137. Корнеев М.М. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию мостов. Т. 1. – Киев: Академпресс, 2010. – 532 с.

138. Корнеев М.М. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию мостов. Т. 2. – Киев: Академпресс, 2010. – 490 с.

139. Рыбаков В.А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 207 с.

140. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов. Краткий курс лекций. – Днепропетровск: Изд-во Акцент, 2012. – 188 с.

141. Сивцов А.А. Примеры расчета металлических путепроводов / А.А. Сивцов, Г.В. Десятых. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. – 125 с.

142. Предотвращение аварий зданий и сооружений: монография / кол. авт. под ред. К.И. Еремина. – Магнитогорск, 2014. – 400 с.

143. Валиев Ш.Н. Анализ надземного пешеходного перехода с целью установления причин разрушения остекления пролетного строения / Ш.Н. Валиев, И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, №6. – DOI: 10.15862/12KO615 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/ PDF/12KO615.pdf.

Для заметок

Для заметок

Учебное издание

Овчинников Илья Игоревич
Валиев Шерали Назаралиевич
Овчинников Игорь Георгиевич
Шатилов Иван Сергеевич

**АВАРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**

Учебное пособие
для магистрантов направления 08.04.01 «Строительство».
Прикладная программа «Искусственные сооружения
на транспорте, способы воздействия и эксплуатации»

Чебоксары, 2020 г.

Редактор *И. Г. Овчинников*
Компьютерная верстка и правка *Т. Ю. Кулагина*

Подписано в печать 26.06.2020 г.
Дата выхода издания в свет 06.07.2020 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 12,555. Заказ К-671. Тираж 500 экз.

Издательский дом «Среда»
428005, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12
+7 (8352) 655-731
info@phsreda.com
www.phsreda.com

Отпечатано в Студии печати «Максимум»
428005, Чебоксары, Гражданская, 75
+7 (8352) 655-047
info@maksimum21.ru
www.maksimum21.ru