

4. Шепелевич Н.И. Исследование вибрации обделки тоннеля метрополитена при упругом креплении рельсового пути / Н.И. Шепелевич, А.Л. Коноплицкий, А.В. Устинович // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О.Н. Лешкевич [и др.]. - Минск, 2018. - Вып. 10. - С. 78-92.

5. Трубы бетонные и железобетонные безнапорные. Технические условия: СТБ 1163-2013 – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь. – 2013. – 20 с.

УДК 624.21(075.8)

ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ И ПУТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

М. Л. Берестевич¹⁾, В. А. Гречухин²⁾, Е. К. Мойсейчик²⁾, Е. А. Мойсейчик²⁾

¹⁾ Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», 4-й загородный пер., 60, 220073, г. Минск, Республика Беларусь,

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Республика Беларусь, emoisseitchik@mail.ru

Значительная часть мостовых сооружений, запроектированных в советское время, содержат различные дефекты, подвержены авариям, имеют срок службы, ниже нормативного. Повреждения и аварии мостовых несущих конструкций вызываются многими факторами, имеющими случайную природу. Их возникновение рассматривается как способ верификации в естественных условиях комплекса научно-технических, нормативных, технологических и управленческих решений и действий. Каждая авария (повреждение и т. д.) является результатом естественного эксперимента (испытания) мостового сооружения, проходящего при действии комплекса случайных нагрузок (механических, тепловых и др.) и воздействий (влажностных, химических, радиационных и др.), случайно изменяющихся во времени и длящихся от начала эксплуатации до возникновения фиксируемого события (повреждения, обрушения и т. д.). В статье с помощью статистических методов исследуются причины аварий автодорожных мостов, выявляются особенности аварийных нагрузок и воздействий на мосты, рассматриваются пути предотвращения отказов мостов и повышения их долговечности.

Ключевые слова: автодорожные мосты, несущие конструкции, повреждения, база данных, повреждения, выявление дефектов, комплексные неразрушающие методы.

Введение. На республиканских автомобильных дорогах Беларуси эксплуатируются 2273 мостовых сооружения. Из них 551 сооружение (24,2%) не соответствуют действующим нормативным требованиям по грузоподъемности и (или) габариту [1]. На сети местных автомобильных дорог не соответствуют этим требованиям 1102 моста (36,4 %) из общего количества 3025 мостов [1].

Большинство мостов Беларуси имеют малые и средние пролеты и выполнены из железобетона. Несущие пролетные конструкции указанных мостов, возведенные в 1958–1971 гг., в основном представляют собой сборные диафрагменные балочные строения. В последующие годы применялись типовые бездиафрагменные балки [2]. По расчетной схеме 70% железобетонных мостов относятся к балочному типу, а 30 % – к плитному [2]. Усилия от пролетных строений воспринимают и передают на фундаменты и грунты оснований опоры из железобетонных свай, стенок и стоек. Несущие конструкции больших мостов выполнялись из железобетонных балок коробчатого сечения, свай-оболочек и др. Пролетные и опорные несущие конструкции часто содержат повреждения, снижающие их работоспособность и долговечность. Срок службы этих объектов не соответствует нормативным значениям по различным причинам [2]. Жизненный цикл отдельных мостов

заканчивается обрушением несущих конструкций, приводящим к авариям с последствиями различной тяжести [3]–[5].

Целью настоящей статьи является исследование причин повреждений и аварий автодорожных мостов, запроектированных в советское время, с использованием данных по их авариям на территории бывшего СССР, выявление особенностей аварийных нагрузок и воздействий на мосты, определение основных направлений работ по предотвращению отказов мостов и повышению их долговечности.

Данные статистики аварий. Возникновение повреждений и аварий несущих конструкций мостовых сооружений можно рассматривать как способ верификации в естественных условиях комплекса научно-технических, нормативных, технологических и управленческих решений и действий. Отказы конструкций в этой цепочке означают, что отдельные решения и действия не являются оптимальными. Вследствие этого наблюдается повышенное внимание к их изучению, установлению причин возникновения и развития, следствий для мостового сооружения, экологии, оценки ущерба, долговечности. При решении частных задач этой проблемы каждую аварию (повреждение и т. д.) можно рассматривать как естественный эксперимент (испытание) над мостовым сооружением, проходящий в условиях комплекса нагрузок (механических, тепловых и др.) и воздействий (влажностных, химических, радиационных и др.), случайно изменяющихся во времени и длящихся от начала эксплуатации до возникновения фиксируемого события (повреждения, аварии и т. д.). Такое событие является случайной величиной, зависящей от сочетаний отдельных нагрузок и воздействий в структуре комплекса. Если рассматривать совокупность однородных событий (аварий и т. д.), отвечающих различным случайным соотношениям нагрузок и воздействий в комплексе, то такие сочетания могут рассматриваться как случайный процесс (случайная функция).

Если иметь N испытаний (аварий и т. д.), в которых возможно появление некоторого фиксируемого события A и при этом k раз событие A фактически имело место, тогда относительная частота (частость) $W(A)$ появления события A в данной серии из N испытаний равна $W(A) = k/N$. При увеличении N частость появления события A будет стремиться к некоторому положительному постоянному числу, представляющему собой количественную оценку возможности случайного события A , называемому его вероятностью. Продолжая подобным образом рассматривать некоторую однородную совокупность аварий сможем ввести и другие понятия и рассмотреть прикладные методы математической статистики [6].

С использованием таких методов несложно получить научно обоснованные выводы о причинах и следствиях аварий. Эти выводы будут относиться не к отдельным авариям, а будут проявлять общие вероятностные характеристики аварий мостовых несущих сооружений. Например, если имеется ограниченная совокупность аварий (испытаний) несущих конструкций данного типа, возведенных и эксплуатируемых по конкретным производственным технологиям, то полученные по отдельным авариям данные могут представлять интерес при рассмотрении и анализе аварии при конкретном комплексе нагрузок и воздействий. Статистические характеристики позволяют характеризовать качество технологических процессов, в результате которых произошла авария. Для выполнения соответствующих расчетов необходимо иметь исчерпывающую базу данных по авариям мостовых сооружений за длительный период. Допустим, что имеется многочисленная (генеральная) совокупность случайных аварий однородных несущих элементов. Из генеральной совокупности можно случайным образом выделить меньшее количество аварий (случайная выборка). Такая выборка будет представительной (репрезентативной), если она достаточно хорошо отображает пропорции генеральной совокупности. При обработке и представлении статистических данных используются методы, изложенные в [6] и других источниках.

Репрезентативную выборку по авариям белорусских мостов создать сложно. Прежде всего это является следствием того, что заинтересованные ведомства Республики Беларусь

не представляют полных отчетов с технической информацией по авариям мостовых сооружений. Так, информация МЧС РБ за соответствующий год содержит лишь количество транспортных аварий. Получить доступ к ограниченным сведениям по мостовым сооружениям, предоставляемым инфоцентром РУП «Белдорцентр», возможно только работникам дорожных организаций на договорных условиях. Опыт зарубежных стран убеждает, что большая открытость доступа к технической информации по мостам, привлечение широкого круга ученых к исследованию возникающих проблем позволяет снизить затраты на управление состоянием мостовых сооружений, повысить его эффективность и увеличить срок эксплуатации мостов без проведения капитальных ремонтов и реконструкций [7].

Несмотря на указанные информационные затруднения возможность создать представительную выборку аварий мостов с балочными, плитными и другими типами пролетных конструкций имеется. С этой целью нами сформирована картотека сведений по авариям таких мостов из открытых источников, включая [3, 8] и другие. Данные относятся к произошедшим на территории бывшего СССР авариям мостов, запроектированных и построенных по технологиям и нормам того периода. В выборке использованы материалы 52 аварий. Сюда не включались аварии пролетных строений на стадии монтажа конструкций. По данным выборки построены гистограммы, представленные на рисунках 1–4. Согласно рисунку 1 выявлено два пика аварий: «в возрасте» 31–35 и 46–55 лет. Первый пик связан с авариями железобетонных балочных мостов коробчатого сечения. Второй пик показывает частоту аварий железобетонных балочных (ребристых) мостов двутаврового и подобных сечений. Видно, что долговечность железобетонных мостов значительно меньше долговечности стальных мостов. В выборке около 80 % аварий относится к средним и малым мостам (рис. 2). Из рисунка 3 следует, что частота аварий балочных мостов в значительной мере определяется принятой конструкцией пролетного строения. Около 80 % аварий мостов с железобетонными пролетными строениями вызываются перегрузом конструкций и коррозионным износом стальной арматуры (рис. 4). Недостаточная культура эксплуатации и неправильные проектные решения играют значительную роль в снижении долговечности автодорожных мостов (рис.4).



Рис. 1. Частота возникновения аварий железобетонных (синий цвет) и стальных (красный цвет) пролетных строений мостов в зависимости от срока эксплуатации

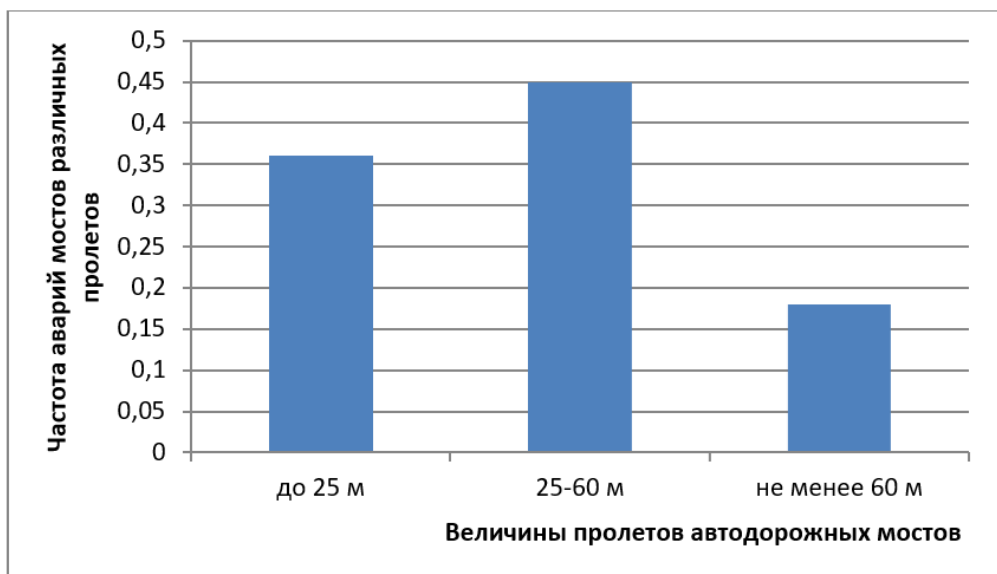


Рис. 2. Частота аварий малых, средних и больших автодорожных мостов



Рис. 3. Частота аварий различных типов пролетных строений



Рис. 4. Частота аварий мостов, вызванных неблагоприятными факторами Ф1–Ф7

Обсуждение данных аварий. Выводы, следующие из гистограмм (рис. 1–4), имеют неодинаковую достоверность. Так, долговечность мостов определялась точными датами начала эксплуатации и аварии. Численно определялись величины пролетов конструкций, формы поперечных сечений обрушенных пролетных строений фиксировались по фотографиям. Факторы, вызвавшие аварию (рис. 4), в каждом случае фиксировались экспертами различной компетенции. Более достоверными могут быть сведения, содержащиеся в отчетах специализированных организаций, расследующих аварию по единой методике и ведущих регулярный учет аварий, как это определено, например, в России [9].

Дополнительные вопросы возникают при совместном рассмотрении рисунка 1 и рисунка 4. Из рисунка 1 следует, что долговечность стальных балочных пролетных строений значительно выше, чем железобетонных. Вместе с тем для обоих типов конструкций антикоррозионная защита выполнялась в соответствии с обоснованными нормативными требованиями: для железобетонных конструкций выбором материалов и защитного слоя бетона, стальных конструкций – выбором стали и окрасочных слоев. Коррозионную устойчивость стальных конструкций можно повысить путем выполнения конструктивных требований по назначению минимальных толщин элементов, отвода влаги с поверхности профилей (расположение профилей в пространстве, сверление отверстий в зонах застоя влаги, открытость профилей для обдува ветром и т. п.). В балочных пролетных конструкциях бетон работает на изгибающие и сдвигающие усилия, в результате в нем всегда возникает зона растяжения и трещины в ней, вследствие этого создаются условия для развития коррозии. В лучших условиях работает бетон в конструкциях, в которых дополнительно к балочным возникают продольные сжимающие усилия (арки, рамы). В ряде поперечных сечений таких конструкций можно избежать возникновения зон растяжения в бетоне. Пониженная долговечность железобетонных балочных коробчатых конструкций прежде всего объясняется дефектами, возникающими вследствие особенностей напряженного состояния железобетонной коробки [10], неотлаженной технологии их строительства, сложностью контроля состояния предварительно напряженной арматуры при строительстве и эксплуатации и другими факторами (см. главу 4 [11]). Долговечность железобетонных пролетных строений существенно снижается из-за ускорения коррозии бетона и стали при действии солевых растворов [12,13], используемых эксплуатационными дорожными службами для борьбы с зимней скользкостью. Кстати, расчетные предсказания срока начала коррозионного поражения стальной арматуры железобетонной коробчатой конструкции с учетом накопления ионов хлора сверх критического количества [13] близки к статистически выявленным величинам (рис. 1).

Обращает на себя внимание основной неблагоприятный фактор Φ_1 , ответственный за аварию почти половины автодорожных мостов (рис. 4). Основными составляющими Φ_1 являются чрезмерная толщина асфальтобетонного покрытия на мостах (до 30–40 см) и значительное превышение временной нагрузки от действия транспортных средств. На российских дорогах участились случаи ударных воздействий по пролетным строениям путепроводов, пешеходных мостов поднятыми кузовами автосамосвалов. Такие воздействия создают аварийные ситуации для мостовых сооружений и в других странах [14], [15]. Имеются в выборке случаи аварий мостов из-за разрушений опорных частей пролетных строений и опор (рис. 4).

Заключение.

1. Аварии мостовых несущих конструкций вызываются многими факторами, имеющими случайную природу. Статистическая обработка репрезентативных выборок аварий позволяет характеризовать качество технологических процессов, в результате которых произошла авария. Для создания таких выборок необходимо иметь базу данных по авариям мостовых сооружений.

2. Выполненный выше статистический анализ аварий автодорожных мостов и литературных данных показывает, что срок службы мостовых сооружений может быть

значительно увеличен за счет повышения качества проектной документации и строительства, внедрения современных строительных технологий, научно-технического сопровождения строительства, организации системы надзора и контроля качества работ по содержанию, ремонту и реконструкции мостов.

3. Система контроля и диагностики состояния несущих конструкций эксплуатируемых мостов должна обеспечивать большую объективность в выявлении, фиксации, росте дефектов (трещин, зон коррозионного поражения арматуры и др.) в элементах конструкций, быть дистанционной и быстродействующей. Таким требованиям в значительной мере удовлетворяют комплексные методы, включающие визуально-оптические неразрушающие методы, работающих одновременно в нескольких волновых диапазонах (видимом, инфракрасном и др.) для выявления дефектных зон конструкций и их дальнейшего исследования традиционными методами неразрушающего контроля.

Литература

1. Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 212.

2. Леонович, И. И. Проблемы эксплуатации железобетонных мостов на сети автомобильных дорог Беларуси / И. И. Леонович, Г. П. Пастушков // Вестник БГПА. – 2002. – № 1. – С. 11–15.

3. Аварии транспортных сооружений и их предупреждение / И. И. Овчинников [и др.]. – Чебоксары : ИД «Среда», 2020. – 216 с.

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

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

6. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1969. – 512 с.

7. Нигаматова, О. И. Системы управления состоянием мостовых сооружений / О. И. Нигаматова, И. Г. Овчинников // Интернет-журнал «Науковедение». – Т. 7, №3. – 2015. – С. 1–15.

8. Реестр аварий зданий и сооружений 2001–2010 годов / К. И. Еремин [и др.]. – М. : VELD, 2011. – 318 с.

9. О порядке расследования причин аварий зданий и сооружений на территории Российской Федерации. МДС 12-4.2000 : приказ министерства строительства Российской Федерации от 06.12.1994 № 17-48.

10. Матвеев, С. А. Расчет конструкций мостовых пролетных строений коробчатого сечения на изгиб с кручением / С. А. Матвеев, Е. А. Мартынов // Вестник СибАДИ. – 2011. – Вып. 4 (22). – С. 26–30.

11. Мухаммад, Е. М. Условия применения составных по длине железобетонных пролетных строений автодорожных мостов в Сирийской Арабской Республике : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. М. Мухаммад. – М. : 1992. – 23 с.

12. Бусел, А. В. Управление зимним содержанием мостов и их защита от солевой коррозии / А. В. Бусел, Е. В. Вольский, С. Е. Исаков // Дороги і мости : зб. наук. пр. / Держ. Служба авт. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 10. – С. 51–53.

13. Бабицкий, В. В. Метод прогнозирования коррозионного состояния стальной арматуры железобетона / В. В. Бабицкий, С. Н. Ковшар // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. – 2016. – № 8. – С. 33–37.

14. Response to Bridge Impacts – An Overview of State Practices. FHWA-HIF-20-087 / Federal Highway Administration. Office of Bridges and Structures. DC 20590. – September 2020. – 15 p.

15. A Study of U.S. Bridge Failures (1980-2012). MCEER-13-0008 / G. C. Lee [et al.] / University at Buffalo. – 2013. – 148 p.

УДК 624.26:666.97

ФИБРОБЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ЗОЛОЙ ОТ СЖИГАНИЯ БУРОГО УГЛЯ БЕЛАРУСИ

Г. Д. Ляхевич¹⁾, И. И. Лиштван²⁾, В. А. Гречухин¹⁾, А. В. Кулан¹⁾,
Е. Н. Савина¹⁾, В. М. Дударчик²⁾, В. М. Крайко

¹⁾ Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Республика Беларусь

²⁾ Институт природопользования НАН Беларуси
ул. Франциска Скарины, 10, 220076, г. Минск, Республика Беларусь

Одним из основных путей улучшения физико-механических свойств цементобетона является введение в бетонную смесь волокон, например, полипропиленовых волокон, модифицированных золой от сжигания бурого угля, микрокремнезема, суперпластификатора, при низком водоцементном отношении 0,28 - 0,35.

Факторы положительного влияния полипропиленовых волокон на структуру и физико-механические характеристики армобетона следующие: снижение общей пористости цементного камня при увеличении объемной концентрации и дисперсности наполнителя; связывание гидроксида кальция кремнеземом. Использование исследованных зол Республики Беларусь совместно с микрокремнеземом МК-85, суперпластификатором С-3 для производства мостовых и тоннельных конструкций будет способствовать решению важных задач:

- расширение сырьевой базы для изготовления строительных конструкций;
- уменьшение расхода цемента;
- обеспечение высоких физико-технических параметров армобетонов;
- обеспечение высокой долговечности и надежности мостовых и тоннельных конструкций, продолжительной эксплуатационной пригодности их и др.;
- обеспечение более длительного межремонтного периода;
- защиты окружающей среды от дисперсных зол, загрязняющих воздушный бассейн, землю, воду.

Ключевые слова: полипропиленовые волокна, зола, сжигание, бурый, уголь, Беларусь, микрокремнезем, суперпластификатор, цементобетон, физико-механические свойства, бетонные, железобетонные, мостовые, тоннельные, конструкции, эффективность использования.

1. Введение: теоретические аспекты.

Ранее нами и другими исследователями [1-26] показано, что дисперсное армирование волокнистой арматурой обеспечивает трехмерное упрочнение композитов и позволяет принципиально изменять свойства цементного камня и других видов искусственных композитов, повышая сопротивление ударным и динамическим нагрузкам, создавая необходимый запас прочности, сохраняя целостность конструкции, даже после появления сквозных трещин и др. Высокодисперсные волокнистые наполнители в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования. Наличие границы раздела между армирующими элементами и цементной матрицей существенно повышает деформативные свойства материала.