

DOI: 10.15593/24111678/2017.01.03

УДК 624.26-033.37-027.4

Л.В. Гулицкая, О.С. Шиманская

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены результаты анализа технико-эксплуатационного состояния железобетонных плитных пролетных строений автодорожных мостовых сооружений на основе мониторинга напряженно-деформированного состояния элементов пролетных строений с учетом фактических структурных изменений, вызванных природно-климатическими воздействиями, техногенными факторами и влиянием человека. Мостовые сооружения, по которым проводились исследования, относятся к балочно-разрезной статической системе, несущие конструкции в составе свайных опор и плитных пролетных строений из ребристых плит и плит сплошного сечения изготовлены из сборного железобетона. В ходе работы были проанализированы данные по грузоподъемности более 50 мостовых сооружений с плитными пролетными строениями. Важным элементом проведенного анализа явилось определение степени изменения прочностных характеристик конструкций с учетом фактических структурных изменений, вызванных эксплуатационными факторами – дефектами и повреждениями.

Приведена классификация дефектов, снижающих грузоподъемность плитных пролетных строений, и причин их появления. Особое внимание уделено влиянию человеческого фактора при проектировании, строительстве и содержании мостовых сооружений, в результате которого возникают серьезные дефекты, снижающие грузоподъемность, долговечность, надежность и безопасность эксплуатации мостов и путепроводов.

Исследовано влияние на грузоподъемность плитных пролетных строений часто встречающихся структурных изменений элементов пролетных строений, а именно выключение из работы крайних плит сплошного сечения пролетного строения, а также коррозия стержней рабочей арматуры главных плит. Проанализированы изменения значения грузоподъемности сборных плитных мостовых сооружений в результате проведенных ремонтных работ по уширению и усилению пролетных строений.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние элементов, мониторинг, функциональные параметры, дефекты, грузоподъемность, структурные изменения, природно-климатические воздействия, техногенные факторы, человеческий фактор, усиление пролетных строений.

L.V. Gulitskaia, O.S. Shimanskaia

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

AN ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND OPERATIONAL CONDITION OF PLATE CONCRETE SUPERSTRUCTURES OF HIGHWAY BRIDGES

The article describes the results of the analysis of the technical and operational condition of plate concrete superstructures of highway bridges based on the monitoring of the stress-strain state of the elements span structures, taking into account the actual structural changes caused by climatic influences, technological factors and the influence of the human factor. Bridge construction, which con-

ducted the study, refer to the girder-static cutting system, load-bearing structures as part of the pile of plate supports and superstructures of ribbed slabs and slabs of solid section made of precast concrete. During the research data were analyzed on duty for more than 50 bridges to the slab span. An important element of the analysis was to determine the degree of change in strength characteristics of structures based on the actual structural changes caused by operational factors – defects and damage.

The classification of defects that reduce the load capacity of plate superstructures, and their causes. Particular attention is paid to the influence of human factors in the design, construction and maintenance of bridges, under the influence of which there are serious defects that reduce the carrying capacity, durability, reliability and safety of operation of bridges and overpasses.

The influence on the load capacity of plate superstructures frequent structural changes elements superstructures, namely off from work extreme slabs of solid section of the superstructure, as well as corrosion of the reinforcement bars working the major plates. The changes in the value of plate-duty modular bridges as a result of repair work on broadening and strengthening superstructures.

Keywords: stress-state elements, monitoring, functional parameters, defects, capacity, structural changes, climatic impact, man-made factors, the human factor, strengthening superstructures.

Значительное количество железобетонных мостовых сооружений в Республике Беларусь выполнено с применением плитных разрезных пролетных строений из ребристых плит и плит сплошного сечения [1]. Учитывая, что эти мостовые сооружения строились преимущественно в 60–70-е гг. прошлого века, в настоящее время большинство из них уже не соответствует требованиям современных норм по грузоподъемности (ТКП 45-3.03-232-2011 «Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования»). Это является следствием физического и морального износа сооружений [2–4]. Для обеспечения устойчивого и безопасного функционирования мостовых сооружений с плитными пролетными строениями требуется актуальный мониторинг напряженно-деформированного состояния элементов плитных пролетных строений с анализом основных функциональных параметров данных мостовых сооружений [5–9]. Решению этой актуальной и важной задачи посвящены исследования технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений, проводимые научно-исследовательской лабораторией мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) филиала БНТУ «Научно-исследовательская часть».

В ходе исследований были проведены следующие работы:

- натурные обследования несущих элементов мостовых сооружений с плитными пролетными строениями из ребристых П-образных плит и плит сплошного сечения с выполнением обмерных и нивелировочных работ в рамках инструментальной диагностики;
- выявлены дефекты мостовых конструкций с определением их месторасположения и объемов для анализа влияния на технико-эксплуатационное состояние мостовых сооружений;

– систематизированы выявленные дефекты мостовых конструкций с целью определения степени их влияния на функциональные параметры мостовых сооружений;

– определена теоретическая грузоподъемность мостовых сооружений с учетом фактического технико-эксплуатационного состояния несущих элементов мостовых сооружений.

Мостовые сооружения, по которым проводились исследования, относятся к балочно-разрезной расчетной схеме, несущие конструкции в составе свайных опор и плитных пролетных строений из ребристых плит и плит сплошного сечения изготовлены из сборного железобетона.

В ходе проведения исследований прочностные характеристики бетона главных плит определялись неразрушающим методом – склерометром Шмидта, толщина мостового полотна – по данным натурных обмеров и технического нивелирования сооружений.

В ходе исследований были проанализированы данные по грузоподъемности более 50 мостовых сооружений с плитными пролетными строениями. Несущая способность конструкций пролетных строений при этом определялась методом предельных состояний для расчетов железобетона – по прочности (I группа) и трещиностойкости (II группа) (ТКП 479-2013 «Правила определения грузоподъемности железобетонных и сталежелезобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов»). Важным элементом расчета явилось определение степени изменения прочностных характеристик конструкций с учетом фактических структурных изменений, вызванных эксплуатационными факторами – дефектами и повреждениями.

Проведенный анализ систематизированных и структурированных данных по дефектам исследованных мостовых сооружений показал, что основными дефектами, снижающими грузоподъемность плитных пролетных строений, являются:

– коррозия стержней рабочей арматуры плит (поверхностная и пластовая), приводящая к уменьшению сечения рабочей арматуры;

– выключение из работы стержней рабочей арматуры плит пролетных строений в результате потери сцепления арматуры с бетоном;

– повышенная толщина слоев дорожной одежды, что приводит к увеличению постоянной нагрузки на плиты пролетных строений;

– нарушение (или отсутствие) объединения стыков между плитами пролетных строений;

– неудачная компоновка поперечных сечений в результате некорректных проектных решений либо в результате изменения проектных решений во время строительства без надлежащего обоснования.

На рис. 1–3 приведены данные по расположению и структуре дефектов пролетных строений на примере исследованных мостовых сооружений.



Рис. 1. Мост через р. Рита на а/д Р-17 Брест – гр. Украины: разрушение бетона крайних плит в пролете № 4, коррозия стержней рабочей арматуры



Рис. 2. Мост через р. Дунайчик в г. Смолевичи: размораживание бетона плиты П1 в пролете № 1, оголение и коррозия арматуры



Рис. 3. Мост через ручей на а/д Р-62
Чашники – Бобр – Бобруйск: размораживание бетона
плиты, коррозия арматуры, выключение из работы
крайнего стержня в результате потери сцепления с бетоном

Проведенный анализ также показал, что основные причины возникновения дефектов, снижающих грузоподъемность мостовых сооружений, – это природно-климатическое и техногенное влияние, а также человеческий фактор.

Природно-климатическое воздействие – это агрессивные факторы окружающей среды (дождь, ветер, лед, изменение уровня воды, солнечная радиация и т.д.), которые оказывают медленное, но постоянное (или периодическое) действие на конструкции мостовых сооружений, вызывая постепенную коррозию, разрушение, снижение несущей способности и безопасности движения по мостовым сооружениям. Аварийный отказ мостового сооружения в этом случае имеет износочный характер. Нарушение устойчивой эксплуатации автодорожных мостов, разрушение конструкций пролетных строений, тротуаров и покрытия мостового полотна происходят в том числе и в результате воздействия противогололедных смесей, применяемых в зимнее время экс-

плуатирующими службами. Постоянные агрессивные стоки с мостового полотна приводят к развитию коррозионных процессов в элементах пролетных строений, способствуют деструкции бетона. Длительное воздействие агрессивной среды является причиной накопления в железобетонных конструкциях хлорид-ионов, преобразующих оксид железа в растворимый хлорид железа, что ведет к существенным изменениям деформативно-прочностных свойств бетона пораженных зон. Изменение свойств материала во времени носит необратимый характер и зависит от условий деформирования и взаимодействия со средой. По мере проникания агрессивной среды в тело конструкции снижаются защитные свойства бетона по отношению к арматуре, которая начинает подвергаться процессу коррозии, в результате чего уменьшается площадь поперечного сечения арматуры и нарушается ее сцепление с бетоном. Все это отрицательно сказывается на несущей способности железобетонных конструкций.

Техногенные факторы – это в основном нагрузки от транспортных средств, воздействующие на сооружение. Они могут вызывать непосредственное разрушение конструкций в результате дорожно-транспортных происшествий или не допустимой для данного мостового сооружения схемы приложения нагрузки. Со временем также происходят процессы накопления и развития повреждений, старение материалов. Аварийное разрушение моста в первом случае может быть внезапным, а во втором – имеет износный характер. Кроме того, в ходе эксплуатации моста происходит превышение расчетных нагрузок из-за увеличения транспортного потока и возрастания массы современных транспортных средств, укладки дополнительных слоев покрытия и т.д. Временные нагрузки, установленные существующими нормами проектирования мостов, условны и не могут точно отражать реальное воздействие на мостовые конструкции существующих транспортных средств. Фактические нагрузки, действующие на сооружение, могут значительно отличаться по степени воздействия на конструкции от нормативных, особенно для мостов малых пролетов и при учете местного воздействия на элементы любых мостов.

К числу важнейших причин сложившегося состояния исследованных мостовых сооружений относится человеческий фактор, а именно:

1) промахи при разработке проектов мостовых сооружений, например:

- неудачная компоновка пролетного строения по типовому проекту 5-04-145 БГД, не предусматривающему объединение тротуарных блоков с крайними плитами пролетных строений;

- некорректная система водоотвода с поверхности мостового полотна на фасады моста, что приводит к разрушению фасадных поверхностей плит пролетных строений, а также торцов насадок опор;

- отсутствие проекта водоотвода с поверхности проезжей части подходов, что приводит к размыву насыпей подходов и разрушению конусов опор;

- применение в поперечном сечении одного пролетного строения плит различной жесткости;

2) отступления от строительного проекта, строительный брак, нарушение технологии строительства и режима эксплуатации, например:

- отсутствие объединения плит пролетных строений в поперечном направлении (отсутствие или некачественное изготовление бетонных шпонок), что приводит к изменению расчетной схемы пролетного строения и уменьшению проектной грузоподъемности мостового сооружения;

- обрыв стержней рабочей арматуры плит в местах установки водоотводных трубок;

3) отсутствие надлежащего, т.е. квалифицированного и своевременного, ухода за мостовыми сооружениями при их длительной эксплуатации, что связано прежде всего с недостатком специалистов по содержанию мостов в эксплуатирующих организациях, что приводит к неграмотной эксплуатации этих сооружений [10]. Например, десятилетиями не выполняются рекомендованные специалистами по обследованию мостов работы по устранению повреждений элементов транспортных сооружений и причин их возникновения.

Под влиянием природно-климатических, техногенных и человеческого факторов происходит физический износ (повреждение) конструкций. Кроме того, для обследованных мостовых сооружений характерен моральный износ, соответствующий положению, при котором сооружение перестает удовлетворять требованиям к его потребительским качествам (прежде всего это пропускная способность и грузоподъемность). При первом виде износа необходимо проведение ремонтов, при втором необходима реконструкция мостового сооружения.

В настоящее время в Республике Беларусь применяются следующие основные виды реконструкции мостовых сооружений:

- уширение пролетных строений с одновременным усилением существующих конструкций;
- усиление несущих конструкций без уширения;
- уширение пролетных строений при достаточной несущей способности существующих конструкций;
- частичная или полная замена пролетных строений.

В ходе проведенных исследований были также проанализированы основные проектные решения, примененные для повышения грузоподъемности мостовых сооружений, с точки зрения влияния на грузоподъемность отремонтированных сооружений [11].

Анализ полученных данных по грузоподъемности исследованных эксплуатируемых мостовых сооружений с плитными пролетными строениями из сплошных плит, в том числе и после проведения работ по уширению и усилению пролетных строений, позволяет сделать следующие выводы:

1. Выключение из работы крайних плит сплошного сечения пролетного строения может несущественно снизить грузоподъемность пролетного строения для нагрузки АК (до 4 %) и очень существенно снизить грузоподъемность пролетного строения для нагрузки НК (до 29 %).

2. В результате проведения текущего ремонта на мостовом сооружении с плитными пролетными строениями из плит сплошного сечения с заменой крайних плит и устранением основных дефектов, снижающих грузоподъемность пролетных строений, грузоподъемность мостового сооружения может быть увеличена в 3 раза.

3. Уширение монолитного плитного пролетного строения сборными плитами сплошного сечения может снижать грузоподъемность скомпонованного пролетного строения до 24 %.

Анализ полученных данных по грузоподъемности исследованных эксплуатируемых мостовых сооружений с ребристыми плитными пролетными строениями позволяет сделать следующие выводы:

1. Результаты исследований в части учета влияния дефектов коррозии стержней рабочей арматуры главных плит (5–8 % от суммарной площади рабочей арматуры плит) показывают, что снижение несущей способности произошло в пределах 1,7 % (по нагрузке АК) и 2,4 % (по нагрузке НК) от номинального значения, соответствующего плитам со структурной сплошностью силовых сечений.

2. Анализ расчетных моделей плит сплошного сечения и ребристых П-образных плит при расчете грузоподъемности показал, что

применение ребристых плит в конструкциях пролетных строений мостовых сооружений является более оптимальным по сравнению с плитами сплошного сечения, поскольку в расчетных моделях определения несущей способности используется приведенная Т-образная форма сечения, что обусловило большую его изгибную жесткость при равных или близких значениях величин внутренней пары сил.

Список литературы

1. Гибшман Е.Е., Попов В.И. Проектирование транспортных сооружений: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 447 с.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / под ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
3. Коваленко С.Н., Сыроватка Л.И. Методика оценки состояния мостов // Автомобильные дороги. – 1985. – № 11. – С. 17–18.
4. Потапкин А.А. Оценка ресурсов мостов с учетом дефектов и повреждений // Вестник мостостроения. – 1997. – № 3. – С. 22–23.
5. Диагностика транспортных сооружений: учеб. пособие / И.Г. Овчинников, И.Г. Козлов, В.И. Кононович, Т.С. Фаизов. – Саратов, 1999. – 184 с.
6. Костюченко С.М., Савчинский Б.В. Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности железобетонных конструкций автодорожных мостов // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 2002. – № 64. – С. 147–149.
7. Иосилевский Л.И., Федулов И.В. Прогнозирование сроков службы железобетонных пролетных строений // Путь и путевое хозяйство. – 1997. – № 8. – С. 11–14.
8. Кожушко В.П. Оценка несущей способности пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов // Вестник Харьков. нац. автомоб.-дорож. ун-та. – 2006. – № 34-35. – С. 14–17.
9. Бородай Д.И. Модель прогноза долговечности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов // Вестник Днепропетров. нац. ун-та железнодорож. транспорта. Наука и прогресс транспорта. – 2010. – № 33. – С. 43–48.
10. Гулицкая Л.В., Куц Н.Н., Шиманская О.С. Обеспечение эксплуатационной надежности городских мостов и путепроводов // Автомобильные дороги и мосты. – 2011. – № 1 (7). – С. 25–29.

11. Гулицкая Л.В., Гусев Д.Е., Шиманская О.С. Актуальные вопросы повышения грузоподъемности типовых сборных плитных мостов на автомобильных дорогах // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – № 1 (15). – С. 9–13.

References

1. Gibshman E.E., Popov V.I. Proektirovanie transportnykh sooruzhenii [Design of transport facilities]. 2nd ed. Moscow: Transport, 1988, 447 p.

2. Moskvina V.M. Korroziia betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow: Stroizdat, 1980, 536 p.

3. Kovalenko S.N., Syrovatka L.I. Metodika otsenki sostoianii mostov [Methodology for assessing the state of bridges]. *Avtomobil'nye dorogi*, 1985, no. 11, pp. 17-18.

4. Potapkin A.A. Otsenka resursov mostov s uchetom defektov i povrezhdenii [Estimation of resources of bridges taking into account defects and damages]. *Vestnik mostostroeniia*, 1997, pp. 22-23.

5. Ovchinnikov I.G., Kozlov I.G., Kononovich V.I., Faizov T.S. Diagnostika transportnykh sooruzhenii [Diagnostics of transport facilities]. Saratov, 1999, 184 p.

6. Kostiuchenko S.M., Savchinskii B.V. Obespechenie ekspluatatsionnoi nadezhnosti i dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrutsii avtodorozhnykh mostov [Maintenance of operational reliability and durability of reinforced concrete constructions of road bridges]. *Avtomobil'nye dorogi i dorozhnoe stroitel'stvo*, 2002, no. 64, pp. 147-149.

7. Iosilevskii L.I., Fedulov I.V. Prognozirovanie srokov sluzhby zhelezobetonnykh proletnykh stroenii [Forecasting the service life of reinforced concrete spans]. *Put' i putevoe khoziaistvo*, 1997, no. 8, pp. 11-14.

8. Kozhushko V.P. Otsenka nesushchei sposobnosti proletnykh stroenii ekspluatiruemykh avtodorozhnykh mostov [Assessment of bearing capacity of span structures of operated road bridges]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 2006, no. 34-35, pp. 14-17.

9. Borodai D.I. Model' prognoza dolgovechnosti zhelezobetonnykh proletnykh stroenii avtodorozhnykh mostov [Model of the forecast of the durability of reinforced concrete span structures of road bridges]. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta*, 2010, no. 33, pp. 43-48.

10. Gulitskaia L.V., Kushch N.N., Shimanskaia O.S. Obespechenie ekspluatatsionnoi nadezhnosti gorodskikh mostov i puteprovodov [Maintenance of operational reliability of city bridges and viaducts]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*, 2011, no. 1 (7), pp. 25-29.

11. Gulitskaia L.V., Gusev D.E., Shimanskaia O.S. Aktual'nye voprosy povysheniia gruzopod"emnosti tipovykh sbornykh plitnykh mostov na avtomobil'nykh dorogakh [Actual issues of increasing the load-carrying capacity of standard prefabricated slab bridges on highways]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*, 2015, no. 1 (15), pp. 9-13.

Получено 01.03.2017

Об авторах

Гулицкая Лариса Владимировна (Минск, Республика Беларусь) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС), филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, e-mail: nilmis@mail.ru).

Шиманская Ольга Степановна (Минск, Республика Беларусь) – руководитель научно-исследовательской лаборатории мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС), филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, e-mail: nilmis@mail.ru).

About the authors

Larisa V. Gulitskaia (Minsk, Republic of Belarus) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Researcher of the Scientific and Research Laboratory of Bridges and Engineering Structures, the Branch of the Belarusian National Technical University “Scientific Research Section” (65, Nezavisimosti av., Minsk, 220013, Republic of Belarus, e-mail: nilmis@mail.ru).

Ol'ga S. Shimanskaia (Minsk, Republic of Belarus) – Head of the Research Laboratory of Bridges and Engineering Structures, the Branch of the Belarusian National Technical University “Scientific Research Section” (65, Nezavisimosti av., Minsk, 220013, Republic of Belarus, e-mail: nilmis@mail.ru).