

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/54TVN417.pdf>

Статья опубликована 27.08.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Антонюк А.А., Варнавская А.О. Принципы определения требований к городским разводным мостам раскрывающейся системы при интенсивных условиях их эксплуатации // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/54TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 625.745.12

Антонюк Анатолий Анатольевич

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»
Россия, Санкт-Петербург¹
Аспирант
E-mail: AAA.12.03.1992@mail.ru

Варнавская Анастасия Олеговна

Шаньдунский научно-технологический университет, КНР, Циндао
Магистрант
E-mail: a.varnavskaia@yandex.ru

Принципы определения требований к городским разводным мостам раскрывающейся системы при интенсивных условиях их эксплуатации

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с анализом особенностей конструктивных решений городских разводных мостов раскрывающейся системы, как актуального современного формата строительных объектов, предназначенных для обеспечения функциональной эффективности транспортной инфраструктуры населенных пунктов.

Одной из важнейших задач эксплуатации мостов является обеспечение требуемого уровня безопасности в контексте динамично изменяющейся структуры нагрузки (повышения скорости и интенсивности транспортных потоков), сопровождающейся увеличением значений параметров напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов. Функциональная эффективность и долговечность характеризуются сложным форматом взаимодействия структурных элементов: пролётных строений, опорных частей, машин и механизмов, обеспечивающих подвижный характер работы разводных мостов – в составе сложной динамической системы.

Основной особенностью эксплуатации разводных мостов раскрывающейся системы является разнообразный формат механических (физических) воздействий на конструктивные элементы, включающий: статические, динамические (в том числе ударные), вибрационные составляющие – стационарные и циклические нагрузки. Каждый из этих видов воздействий (или их сочетаний) способен привести к потере необходимого качества, которое характеризуется переходом в недопустимое и/или небезопасное техническое состояние.

¹ 190031, РФ, Ленинградская область, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 9, оф. 1-205, факультет «Транспортное строительство», кафедра «Мосты»

Отсутствие достоверной информации о фактическом уровне технического состояния и параметрах напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов разводных мостов провоцирует угрозы для социальной и экологической среды города.

Ключевые слова: городская транспортная инфраструктура; разводные мосты раскрывающейся системы; несущие конструктивные элементы; факторы влияния; параметры напряженно-деформированного состояния; методы научных исследований; безопасность и долговечность эксплуатации; моделирование показателей технического состояния

Введение

Устройство разводного моста является одним из наиболее рациональных способов обеспечения пересечения наземного сухопутного (железнодорожной, автомобильной, пешеходной магистрали) и водного (реки, канала) путей в условиях городской транспортной инфраструктуры. Такой подход является оправданным, в особенности, при наличии относительно невысоких берегов (набережных сооружений) реки и/или невозможности устройства высоких насыпей для неподвижного (стационарного) моста с габаритами, позволяющими осуществлять проход под мостом наиболее крупных транспортных средств [1, 2].

К настоящему времени отечественный и зарубежный опыт проектирования и эксплуатации разводных мостов («*movable bridge*») позволяет классифицировать следующие основные системы [2]:

- вертикально-подъёмная («*vertical-lift bridge*»);
- раскрывающаяся: однокрылая и двухкрылая («*bascule bridge: single and double wing*»);
- поворотная: однорукавная и двухрукавная («*swing bridge: single and double leaf*»).

Основной особенностью разводных мостов рассмотренных систем от других типов транспортных сооружений (прежде всего неподвижных мостов) является структурное взаимодействие конструктивных элементов моста с комплексом машин и механизмов, обеспечивающих динамическое перемещение (разведение и наведение) и стационарное функционирование пролетных сооружений, в рамках единой и целостной системы. Это обстоятельство совершенно недостаточно отображено в действующей нормативной, учебной и справочной литературе и характеризуется очевидным дефицитом отечественных научных исследований^{2,3,4}.

Целью данной статьи является анализ возможности применения системного подхода к оценке качества конструктивных решений разводных мостов раскрывающейся системы [3].

² Руководство по проектированию разводных мостов (в развитие СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»). – М.: Транспорт. 1990. – 121 с.

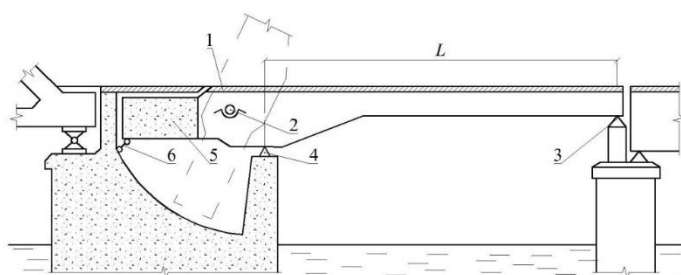
³ СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации. 2010. – 346 с.

⁴ EN 1993-2. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 2. Steel bridges. – Brussels: CEN. 2006. – 118 p.

Характеристика функциональных и конструктивных особенностей разводных мостов раскрывающейся системы

Структурная система разводного моста раскрывающейся системы представляет собой не только конструктивные элементы, воспринимающие усилия от нагрузочного эффекта (включая эксплуатационную нагрузку от автомобильного и железнодорожного транспорта), но и динамический механизм, предназначенный для формирования рабочего пространства, пригодного для использования средств водного транспорта.

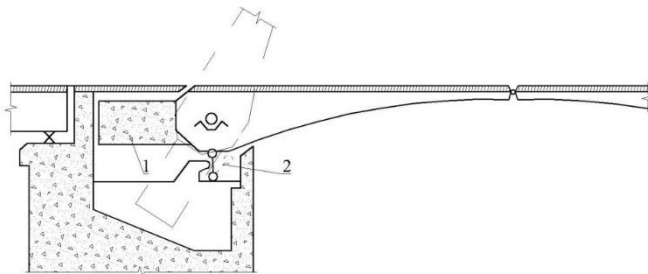
Для разводных мостов раскрывающейся системы является характерным вращательного движения пролетного строения (однокрылого, для сравнительно небольших пролетов и двухкрылого – для значительных пролетов) относительно горизонтальной оси вращения (рисунок 1, [1, 2]).



а) функциональная (расчётная) схема *однокрылого* моста

Условные обозначения:

- 1 – пролётное строение;
- 2 – ось вращения;
- 3 – опорная часть;
- 4 – опорная часть;
- 5 – противовес;
- 6 – специальное, подклинивающее устройство.



б) функциональная (расчётная) схема *двухкрылого* моста

Условные обозначения:

- 1 – противовес;
- 2 – качающаяся стойка.

Рисунок 1. Функциональные схемы мостов раскрывающейся системы (составлен авторами)

Каждая из представленных функциональных схем рассматривается, как:

- несимметричная консольная система с одной опорой – в разведенном (динамическом, разведённом) положении;
- балочная система с двумя опорами – в наведенном (статическом) положении.

Конструктивное решение двухкрылого моста предполагает возможность применения меньших (относительно однокрылой системы) значений: мощности подъёмных механизмов (несмотря на вдвое большее общее количество), размеров опор и собственного веса конструктивных элементов пролётных строений.

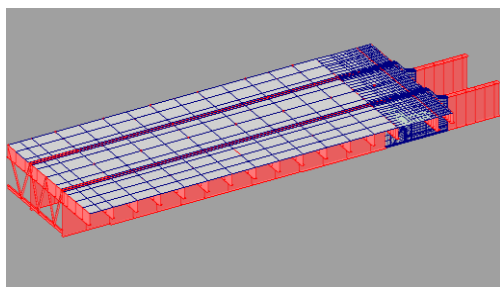
Для каждой из рассмотренных функциональных схем особое значение имеет собственный вес основных конструктивных элементов пролетного строения, от которого зависят размеры опор, режим и мощность двигателей подъёмных механизмов. Данное обстоятельство объясняет широкое применение в мостах раскрывающейся системы несущих стальных конструктивных элементов [1, 2, 4].

Анализ воздействий факторов влияния на параметры напряженно-деформированного состояния несущих стальных конструктивных элементов

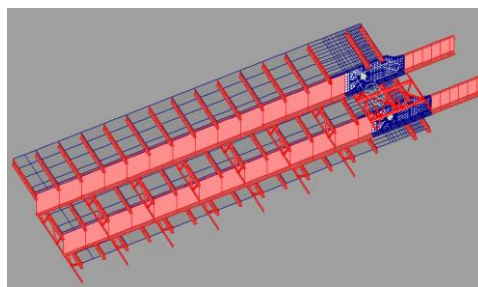
Системный анализ последствий воздействий факторов влияния на параметры напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов пролетного строения разводного моста предполагает использование теоретических (индукции и математического моделирования) и эмпирических (наблюдения, обследования) методов исследований [5, 6].

В качестве объекта исследований рассмотрены конструктивные элементы крыла пролетного строения разводного моста. В качестве предмета исследований приняты параметры напряженно-деформированного состояния несущих конструктивных элементов, вследствие проявления факторов влияния в ходе практической эксплуатации разводного моста раскрывающейся системы⁵.

На рисунке 2 представлены расчетные схемы (математические модели) пролетного строения разводного моста, предназначенные для расчетно-теоретического исследования параметров напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов моста.



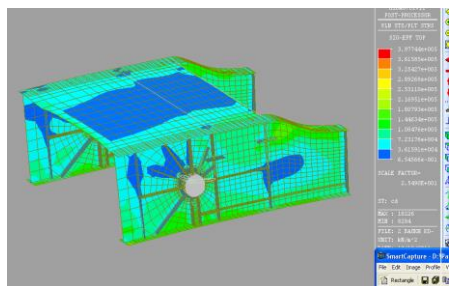
а) вид «сверху»



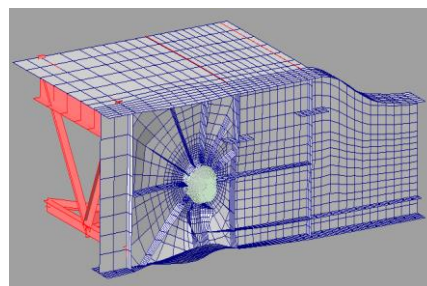
б) вид снизу

Рисунок 2. Расчетно-теоретическая (конечноэлементная модель) пролётного строения моста раскрывающейся системы (составлен авторами)

Результаты расчета пролётного строения в наведённом (закрытом) положении определили общее напряженно-деформированное состояние, но не отражали локальные особенности работы конструкции, в том числе у оси вращения и в области опирания главных балок моста. Для этих конструктивных элементов составлены соответствующие расчетные схемы (модели), при помощи которых получены параметры напряженно-деформированного состояния областей главных балок, включающую область у осей вращения (рисунок 3) [7, 8, 9].



а) параметры напряженного состояния областей главных балок моста



б) параметры деформированного состояния областей главных балок моста

Рисунок 3. Параметры напряженно-деформированного состояния областей главных балок моста [10]

⁵ Мосты Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mostotrest-spb.ru/bridges>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

Результаты расчета рассматриваемых областей главных балок указывают на возникновение в опорных ребрах жесткости локальных напряжений, которые формируют условия для образования трещин в сварных швах, которыми ребра прикрепляются к стенкам главных балок. Отклонения опорных элементов от их проектного положения вызывают во всех элементах конструкции пролётного строения дополнительные (непроектные) напряжения, которые могут быть одной из причин образования трещин.

Рассогласование условий опирания различных главных балок крыла и изменение плано-высотного положения опорных узлов против проектного фактически означает трансформацию (отклонение) расчётной схемы, изменяющей характер работы (параметров напряженно-деформированного состояния) пролётного строения моста. Формирование трещин констатирует фактическое изменение структурной схемы конструкции вследствие ее адаптации к реальным (вынужденным) условиям эксплуатации, не соответствующим расчетным предпосылкам и внепроектному перераспределению усилий между элементами конструкции.

Вероятностная модель прогноза безотказности разводных мостов

Значительное количество случаев аварийных технических состояний характерно для элементов пролетных строений разводных мостов, которые характеризуются чрезмерными (внепроектными) значениями показателей напряженно-деформированного состояния, вызванных отклонениями от проектных пространственных и геометрических характеристик. Для безопасной эксплуатации именно таких элементов является актуальной экспертиза их фактического технического состояния, остаточного ресурса и рисков наступления отказов или предельного состояния.

Наиболее важным показателем безопасности эксплуатации разводных мостов является безотказность конструктивных элементов, опорных частей, машин и механизмов, осуществляющих перемещение пролетных строений в наведённое и разведённое положение⁶.

На рисунке 4 представлена структура количественных показателей, характеризующих свойство надежности для конструктивных элементов разводных мостов раскрывающейся системы (включая машины и механизмы, осуществляющие перемещение пролетных строений).



Рисунок 4. Структура показателей свойства надежности разводных мостов (составлен авторами)

⁶ ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ. 2015. – 16 с.

Моделирование характеристик (их проектных значений) напряженно-деформированного состояния является одним из наиболее эффективных способов получения информации о техническом состоянии (включая показатели надежности) отдельных конструктивных элементов и всего мостового сооружения в целом в некоторый, произвольный момент времени, для любого из этапов его жизненного цикла.

Вероятностная математическая модель (или модель нефизической природы [10]) безотказной работы разводного моста позволяет осуществлять анализ развития негативного процесса (внепроектных параметров напряженно-деформированного состояния и/или образования трещин сварных швов стальных конструктивных элементов с рассмотрением влияния одного или нескольких негативных факторов), который развивается в пространстве и во времени, для таких условий, в которых находится реальный объект исследований.

В рамках данного исследования, проводимого с использованием математической вероятностной модели, был проведен анализ непрерывного (во времени) процесса, который характеризует переходы технического состояния рассматриваемого разводного пролета из одного состояния – в последующее состояние (по направлению снижения основных функциональных свойств или увеличению физического износа конструктивных элементов и оборудования)⁷:

$$P_t = 1 - \frac{1}{n!} \cdot (\lambda \cdot t_i)^n \cdot e^{-\lambda \cdot t_i} \quad (1)$$

где: P_t – показатель вероятности безотказной работы (доля от единицы);

e – натуральное число;

λ – функция (интенсивность) физического износа (формирования внепроектных параметров напряженно-деформированного состояния);

n – количество состояний, принятых для анализа;

t_i – срок службы (годы).

Показатель вероятности безотказной работы (ненаступления физического износа) P_t в аналитической зависимости (1) является количественной характеристикой надежности технического состояния и характеризует возможное снижение основных функциональных свойств (физического износа) разводного моста к некоторому моменту времени (сроку службы).

На рисунках 5 и 6 приведены результаты анализа надежности (в формате вероятности безотказной работы, P_t) с применением аналитической зависимости (1), для двух групп проектных ситуаций:

- группа 1 – за исходные данные принят фиксированный расчетный (проектный) срок службы моста, который составляет $t = 50$ лет. Предполагается развитие физического износа (формирования трещин в сварных швах вследствие рассогласования условий опирания различных главных балок крыла и изменение плано-высотного положения опорных узлов) с различной интенсивностью: 0,1, 0,05 и 0,01 год⁻¹, соответственно;
- группа 2 – за исходные данные принято фиксированное расчетное (проектное) значение интенсивности физического износа $\lambda=0,1$ год⁻¹. Предполагается

⁷ ОДМ 218.3.014-2011. Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. – М.: Федеральное дорожное агентство. 2011. – 84 с.

развитие физического износа (формирования трещин) основных конструктивных элементов для различных значений срока службы: 25, 50, 100 лет, соответственно.

При расчете обеих групп проектных ситуаций к рассмотрению приняты следующие возможные технические состояния подъемного сооружения ($n = 5$):

- исправное, физический износ составляет до 5 %;
- ограниченно исправное, физический износ составляет до 20 %;
- работоспособное, физический износ составляет до 40 %;
- ограниченно работоспособное, физический износ составляет до 60 %;
- неработоспособное, физический износ составляет до 100 %.

Следует отметить, что принятые возможные технические состояния анализируемого сооружения были рассмотрены только в рамках данного исследования, представленного в статье.

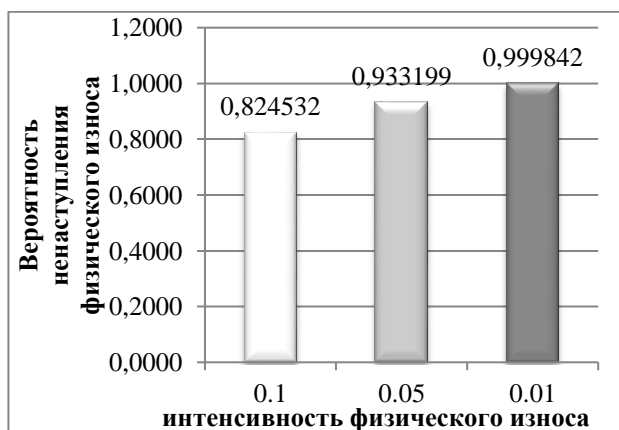


Рисунок 5. Показатель вероятности ненаступления физического износа для фиксированного срока службы $t = 50$ лет (составлен авторами)

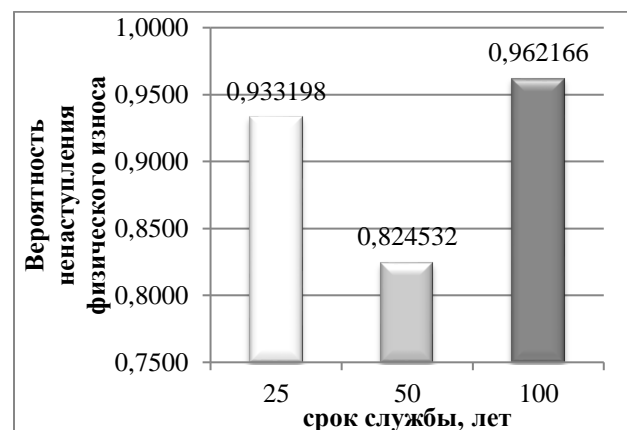


Рисунок 6. Показатель вероятности ненаступления физического износа для фиксированного значения интенсивности физического износа $\lambda=0,1$ (составлен авторами)

Расчетное значение вероятности ненаступления физического износа подъемного сооружения определяется, исходя из граничного значения физического износа, равного 60 %. Превышение этой величины является серьезной опасностью для выполнения соответствующих производственных процессов, а восстановление функциональной эффективности элементов мостового сооружения считается экономически нецелесообразным. Вероятность безотказной работы (ненаступления физического износа), определяемая при помощи аналитической зависимости (1), является количественной оценкой рисков экономических и социальных потерь, связанных с остановкой транспортных операций вследствие недопустимого технического состояния конструктивных элементов и оборудования разводного мостового сооружения.

Результаты

В данном научном исследовании получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ возможности и целесообразности применения системного подхода к оценке качества конструктивных решений разводных мостов раскрывающейся системы.

2. Рассмотрены практические примеры влияния негативных (аварийных) факторов на параметры напряженно-деформированного состояния несущих конструктивных элементов пролетных строений мостов.
3. Разработана математическая модель оценки показателей надежности (в формате показателя вероятности безотказной работы) конструктивных элементов мостовых сооружений, учитывающей характер и интенсивность последствий влияния внепроектных эксплуатационных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Г. И. и др. Проектирование мостов и труб. Металлические мосты [Текст]: Учебник для вузов ж.-д транспорта / Г. И. Богданов, С. Р. Владимирский, Ю. Г. Козьмин, В. В. Кондратов; под ред. Ю. Г. Козьмина. – М.: Маршрут. 2005. – 460 с. – ISBN: 5-89035-159-1.
2. Terry L. Koglin. Movable Bridge Engineering. – Hoboken NJ.: John Wiley & Sons. 2003. – 691 p. – ISBN: 9780471419600.
3. Рыков А. С. Системный анализ. Модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации [Текст]. – М.: Издательский Дом МИСиС. 2009. – 608 с. ISBN: 978-5-87623-196-3.
4. Петропавловский А. А. и др. Металлические мосты [Текст]: Учебник / А. А. Петропавловский, Н. Н. Богданов, Н. Г. Бондарь, М. К. Никитин, Ю. М. Сильницкий, А. В. Теплицкий; под ред. А. А. Петропавловского. – М.: Транспорт. 1982. – 320 с.
5. Рузавин Г. И. Методология научного познания [Текст]: Учебное пособие / Г. И. Рузавин. – М.: Юнити-Дана. 2012. – 287 с. – ISBN: 978-5-238-00920-9.
6. Кузьмин С. И. Методы научных исследований в технических задачах. [Текст]: Учебное пособие / С. И. Кузьмин. – Ангарск: АГТА. 2010. – 247 с.
7. Богданов Г. И., Рыбина И. И., Антонюк А. А. Расчетно-теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния пролетного строения разводного моста раскрывающейся системы // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – выпуск 2 (47). – С. 121-132.
8. Богданов Г. И. Натурные исследования работы элементов главных балок пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы у осей вращения / Г. И. Богданов // Учебное пособие. – 2014. – № 3 (40). – С. 135-143.
9. Кондратов В. В. Оценка долговечности разводных мостов раскрывающейся системы при отсутствии подклинки противовеса / В. В. Кондратов, Богданов Г. И. // Учебное пособие. – 2013. – № 1 (34). – С. 96-99.
10. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд. испр. – М.: Физматлит. 2001. – 320 с. ISBN 5-9221-0120-X.

Antonyuk Anatoly Anatolievich

Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, Russia, Saints-Petersburg
E-mail: AAA.12.03.1992@mail.ru

Varnavskaia Anastasiia Olegovna

Shandong university of science and technology, P. R. China, Qingdao
E-mail: a.varnavskaia@yandex.ru

Principles of definition requirements to city bascule bridges under intensive conditions at their operation

Abstract. In this article are considered the questions which related the analysis of features at constructive decisions urban bascule bridges, as an actual modern format of construction objects, which are designed to ensure the functional efficiency transport infrastructure of settlements.

One of the most important tasks at operating bridges is to ensure the required level of safety in the context of a dynamically changing load structure (increase the speed and intensity of traffic flows), which are accompanied by an increase in the parameters of the stressed and strained state of the main structural elements of urban bridges. The functional efficiency and durability are provided with a difficult format interaction of structural elements: flying structures, basic parts, machines and mechanisms, which providing mobile kind of work of movable bridges – in a part of difficult dynamic system.

The main feature operation of movable bridges is the various format mechanical (physical) impacts on structural elements, which including: static, dynamic (including percussions), vibration components – stationary and cyclic loadings. Each of these types influences (or their combinations) is capable to lead loss of necessary quality which is characterized by transition in inadmissible and/or unsafe technical condition.

The lack of reliable information about the actual level of technical condition and parameters the strained and deformed condition at structural elements movable bridges provokes threats for the social and ecological environment of the city.

Keywords: transport infrastructure of city; bascule bridges; the bearing structural elements; influence factors; parameters of the strained and deformed state; methods of scientific research; safety and durability of operation; modeling of indicators technical condition of bridges