

УДК 624.21.033

*С. М. БОБРИЦКИЙ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ**Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ ВРЕМЕННЫХ МОСТОВ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены существующие инвентарные конструкции отечественного и зарубежного производства, применяемые при краткосрочном (временном) восстановлении мостов, обсуждены их достоинства и недостатки. Предложен алгоритм проектирования сборно-разборного краткосрочного (временного) моста из местных материалов. В основу алгоритма положены современные принципы формообразования конструкций мостовых сооружений, в том числе, биомиметический подход, а также использование современных методов имитационного моделирования.

Ключевые слова: мостовые сооружения, местные материалы, формообразование, биомиметический подход, имитационное моделирование.

Введение. На современном этапе развития инженерного искусства для краткосрочного (временного) пропуска железнодорожного и автодорожного транспорта через водные преграды, ущелья, пересечения дорог (путепроводы), а также в условиях чрезвычайных ситуаций при восстановлении поврежденных мостовых сооружений на прежней оси, преимущественно используются металлические инвентарные мостовые конструкции и отдельные типовые решения деревометаллических конструкций [1, 2]. Яркими примерами конструктивных решений для краткосрочного (временного) возведения мостов являются:

– на железных дорогах (рисунок 1) РЭМ-500, НЖМ-56 (разработано в СССР), ИМЖ-500, МЛЖ-ВТ-ВФ (Российская Федерация) [1], а также отдельные элементы опор из имущества ИМИ-60 и МИК-С (СССР и Российская Федерация), пролетных строений из имущества МИК-П и СРП (изготовленных в СССР и Российской Федерации);

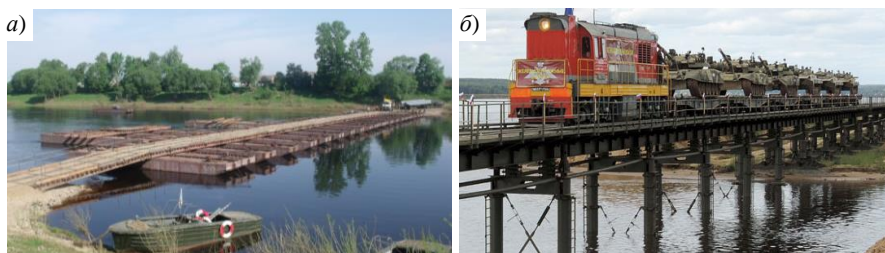


Рисунок 1 – Табельные железнодорожные мосты:

а – наплавной железнодорожный мост НЖМ-56; *б* – инвентарный мост железнодорожный ИМЖ-500

– на автомобильных дорогах (рисунок 2) МАРМ, ММП, МПБ, ТАРМ, САРМ-М, БАРМ, ПМП (СССР) [3], сборно-разборный универсальный мост ТАЙПАН (Российская Федерация) [4], модульные системы инвентарных мостов зарубежных стран типа Bailey Bridge [5], Acrow Bridge [6], понтонно-модульная система LMCS [7] (рисунок 3) и др. аналоги.



Рисунок 2 – Временные автодорожные мосты:

а – мост из прокатных балок МПБ; *б* – средний автодорожный разборный мост САРМ-М; *в* – понтонно-мостовой парк ПМП; *г* – сборно-разборный универсальный мост ТАЙПАН

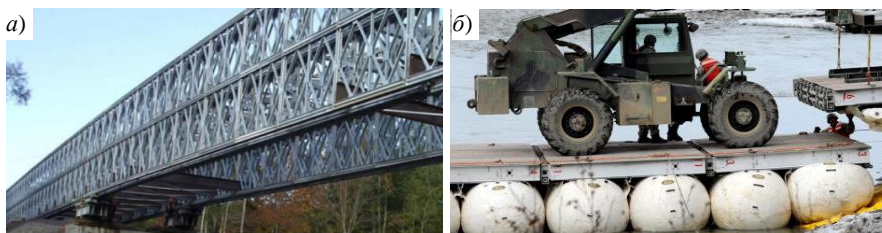


Рисунок 3 – Конструкции зарубежных сборно-разборных мостов:

а – модульная система Acrow Bridge ; *б* – понтонно-модульная система LMCS

Наряду с многочисленными положительными эксплуатационными характеристиками представленные технические решения объединяет один существенный недостаток – это их ограниченное количество и оснащение только больших строительно-восстановительных организаций и отдельных родов войск (инженерные, дорожные, железнодорожные, транспортные) Россий-

ской Федерации и Республики Беларусь. Кроме того, изготовление нового комплекта любого из названных имуществ требует значительных денежных вложений, которые не все страны могут себе позволить. Поэтому повсеместное применение инвентарных мостов и отдельных конструкций существенно ограничено.

В то же время современное развитие науки и технологий производства в области применения инновационных материалов позволяет решить проблему использования дефицитных мостовых инвентарных конструкций для некоторых частных задач. В данной работе предлагается ряд концептуальных подходов к рассмотрению возможности использования различных материалов, в том числе инновационных, в качестве основы для изготовления конструктивных элементов мостового сооружения.

Постановка задачи. Предлагается укрупненная блок-схема алгоритма проектирования сборно-разборного краткосрочного (временного) моста из местных материалов, которая представлена на рисунке 4. Она включает ряд подходов, последовательное использование которых позволит обеспечить необходимую прочность и надежность сооружения.



Рисунок 4 – Укрупненная блок-схема алгоритма проектирования сборно-разборного краткосрочного (временного) моста из местных материалов

Первый подход заключается в определении облегченных требований, предъявляемых к индивидуальному проектированию краткосрочных или временных мостовых сооружений. Предполагается, что требования к мостовым сооружениям будут назначены исходя из условий обеспечения минимальных эксплуатационных нагрузок, с возможностью их наращивания.

Второй подход состоит в определении перечня оптимальных конструктивных форм несущих и вспомогательных элементов конструкций мостового сооружения при различных условиях нагружения. На наш взгляд здесь перспективно использование принципов формообразования конструкций, описанных в работах [8, 9]. В работе [8] Абовским Н. П. предложено использовать энергетический подход на основе принципов: энергетической проводимости; энергетической защиты сооружения; перераспределения энергии деформирования; преобразования части энергии внешнего воздействия; предварительной энергетической зарядки; автоматического управления сооружением. Все они основаны на энергетическом подходе к формообразованию конструкций сооружений. В исследованиях Фридкина В. М. [9] представлены 12 принципов формообразования конструкций: безопасности; конкуренции; экономичности; энергоемкости; управляемости; самосохранения; технологичности; объединения технологий; композиции конструкционных материалов; структурирования; совмещения функций; эстетичности. Здесь наибольший интерес и важность вызывают первые семь, которые могут найти эффективное применение в процессе проектирования и решения конкретных задач по разработке конструктивных форм с учетом технологических и экономических возможностей их реализации для конкретных мостовых сооружений.

Еще одним инновационным методом, который может быть использован при разработке мостовых сооружений, является биомиметический подход, описанный в работе [10]. Он заключается в заимствовании природных характеристик (организм – поведение – экосистема) для создания системы, включающей основные пять составных элементов создания мостового сооружения (форма – конструкция – материал – процесс – функция). Содержание систематизации уровней и типов заимствования на основе биомиметического подхода приведены в [10, таблицы 1–5].

Каждый из представленных выше принципов и способов формообразования в той или иной степени должен учитываться при проектировании конструкций мостового сооружения с учетом заданных требований.

Третий подход включает в себя использование требований (рекомендаций), выработанных в ходе выполнения предыдущих этапов, в качестве основы для выбора конструкционных материалов несущих и вспомогательных элементов мостового сооружения с учетом их физико-механических свойств и приложенных нагрузок. В этом случае значительный эффект может быть получен при использовании биомиметического подхода в соответствии с ре-

комендациями, приведенными в работе [10, таблица 3]. Материал конструктивных элементов по биомиметическому принципу подбирается на основе: адаптации; вариативности; минимизации информации; устойчивости; историчности; взаимосвязи компонентов. Основной упор необходимо делать на местные материалы, которые имеются в необходимом количестве в регионе строительства мостового сооружения.

Четвертый подход заключается в разработке методики ускоренной оценки прочностных характеристик элементов конструкций и определения нормативно-вероятностных сроков безотказной работы отдельных элементов конструкций и мостового сооружения в целом. Такая методика заключается в предварительном имитационном моделировании несущих элементов мостовых конструкций на основе научно-обоснованного применения способов определения напряженно-деформированного состояния с помощью метода конечных элементов в линейной и нелинейной постановках. При этом целесообразно использовать не только существующие отдельные комплексные методики, но и адаптивный принцип использования совокупности различных методов расчета к сложным системам. Выработанные алгоритмы расчета должны обеспечивать достоверные результаты имитационного моделирования работы не только отдельных несущих, но и второстепенных элементов конструкций всего мостового сооружения. Это позволит изучить работу всей системы, выявить слабые места и осуществить необходимую корректировку, включающую, в том числе, подбор конкретных материалов и их сочетаний.

В качестве высокоэффективного инструмента для проведения имитационного моделирования работы конструкций с возможностью анализа напряженно-деформированного состояния при различных статических и динамических нагрузках целесообразно использовать специализированный программный продукт ANSYS или его аналоги.

На основе использования построенной расчетной имитационной модели появляется возможность определения нормативно-вероятностных сроков безотказной работы отдельных конструктивных элементов, что, в свою очередь, позволит прогнозировать срок службы каждого элемента и своевременно его заменять на новый.

Выводы. В статье предложен алгоритм проектирования сборно-разборного краткосрочного (временного) моста из местных материалов, который включает логико-структурное выполнение рассмотренных подходов и эффективный подбор инструментов имитационного моделирования. Развитие предложенных подходов позволит решать задачи по возведению мостовых сооружений из местных материалов с учетом заданных эксплуатационных условий, прогнозируя при этом вероятность безотказной работы как отдельных элементов конструкций, так и мостового сооружения в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бобрицкий, С. М.** Временное восстановление железнодорожных мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий, А. А. Поддубный, К. В. Махаев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 218 с.

2 Мосты и переправы на военно-автомобильных дорогах. В 3 ч. Ч. 2. Низководные мосты из местных материалов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 271 с.

3 **Кучинский, Э. П.** Мосты и переправы на военно-автомобильных дорогах. В 3 ч. Ч. 1. Табельные разборные и наплавные мосты, паромные переправы : учеб. пособие / Э. П. Кучинский, С. М. Бобрицкий, А. А. Цивилёв. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 235 с.

4 **Проценко, Д. В.** Совершенствование конструктивно-технологических параметров системы несущих элементов и элементов проезжей части универсального сборно-разборного пролетного строения с быстросъемными шарнирными соединениями : дис. ... канд. техн. наук / Д. В. Проценко. – Новосибирск : СГУПС, 2018. – 188 с.

5 **King, W. S.** Laboratory load tests and analysis of Bailey bridge segments / W. S. King, S. M. Wu, L. Duan // Journal of Bridge Engineering. – 2013. – Vol. 18, no. 10. – P. 957–968.

6 Prefabricated Steel Bridge Systems : Final report / FHWA Solicitation No. DTFH61-03-R-00113. – Structure Design and Rehabilitation, Inc., 2005. – 261 p.

7 Rapid Bridge Replacement Techniques / W. R. Burkett [et al.] ; TechMRT Report No. 04568-1. – Lubbock : Texas Tech University, 2004. – 212 p.

8 **Абовский, Н. П.** Об основах теории формообразования конструкций / Н. П. Абовский // Исследования и инновационные разработки РААСН : сб. статей к общему собранию РААСН. – Т. 2. – М. : Российская акад. архитектуры и строит. наук ; Иваново : Ивановский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2010. – С. 3–7.

9 **Фридкин, В. М.** Формообразование строительных конструкций / В. М. Фридкин. – М. : МГСУ, 2011. – 168 с.

10 Развитие основных принципов проектирования транспортных сооружений. Использование биомиметического подхода / А. Б. Караханян [и др.] // Транспортные сооружения. – 2017. – Т. 4, № 3. – 12 с.

S. M. BABRYTSKI, A. O. SHIMANOVSKY

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

APPROACHES TO THE DESIGN OF PREFABRICATED-DISMOUNTABLE TEMPORARY BRIDGES MADE OF LOCAL MATERIALS

The article presents the existing inventory bridge structures of domestic and foreign production, used for the short-term (temporary) bridge restoration, their advantages and disadvantages are discussed. An algorithm for designing a prefabricated-dismountable short-term (temporary) bridge made of local materials is suggested. The algorithm is based on modern principles of bridge constructions shaping, including biomimetic approach, as well as the usage of modern imitation methods to solve the problem.

Keywords: bridge structures, local materials, shaping, biomimetic approach, imitation modeling.

Получено 22.11.2011