

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 624.21.033.1

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, *Е. В. ПЕЧЕНЕВ*, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ
АВТОМОБИЛЬНОГО НАПЛАВНОГО СБОРНО-РАЗБОРНОГО БЫСТРОВЗВОДИМОГО
МОСТА ПОД МАКСИМАЛЬНУЮ ОСЕВУЮ НАГРУЗКУ ДО ДВУХ ТОНН**

Рассматриваются варианты схем наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под автомобильную нагрузку. Представлены инженерные и технические решения наплавного моста с помощью 3D-моделирования существующих инвентарных сборно-разборных быстровозводимых мостов. Проанализирована возможность 3D-моделирования и проектирования новых конструкций быстровозводимых мостов под заданную нагрузку.

Введение. Быстровозводимые сборно-разборные мосты показали свою востребованность в определенных структурах и сферах Республики Беларусь. Они продемонстрировали высокую надежность и прочность при длительной эксплуатации в различных климатических условиях, в труднопроходимой, заболоченной местности.

С 2020 года произведено на предприятиях Республики Беларусь и эксплуатируется быстровозводимых сборно-разборных мостов с пролетными строениями СРММП-1.1 – 1992 м; СРММП-1.2 – 16,8 м; СРММП-2 – 56 м. В том числе завершена научно-исследовательская опытно-конструкторская работа «Обоснование основных параметров элементов сборно-разборного металлического наплавного моста грузоподъемностью до 0,5 т» шифр «МНПМ-1,0» и проведены испытания плавучей опоры [1].

Возник вопрос о разработке новых типовых конструкций, удовлетворяющих требованиям сборно-разборных быстровозводимых плавучих мостов с большей грузоподъемностью для выполнения большего количества задач.

Увеличение грузоподъемности пролетных строений влечет за собой повышение материалоемкости конструкций, а это в свою очередь увеличивает массу пролетных строений. Соответственно это будет нарушать саму концепцию и преимущества быстровозводимых мостов, а именно применение конструкций без грузоподъемной техники.

Использование автомобильного легкового транспорта со временем становится всё более востребованным. В среднем в 2022 году на 1000 жителей Республики Беларусь приходилось 323 легковых автомобиля. Нагрузка на ось не превышает двух тонн.

Варианты схем наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под автомобильную нагрузку.

Для реализации наплавного моста под автомобильную нагрузку с учетом существующих конструкций плавучих опор рассматривается два способа. Конструктивные особенности позволяют увеличивать грузоподъемность секций наплавного моста за счет увеличения количества наплавных опор. Варианты наплавного сборно-разборного быстровозводимого

моста под автомобильную нагрузку представлены на рисунке 1.

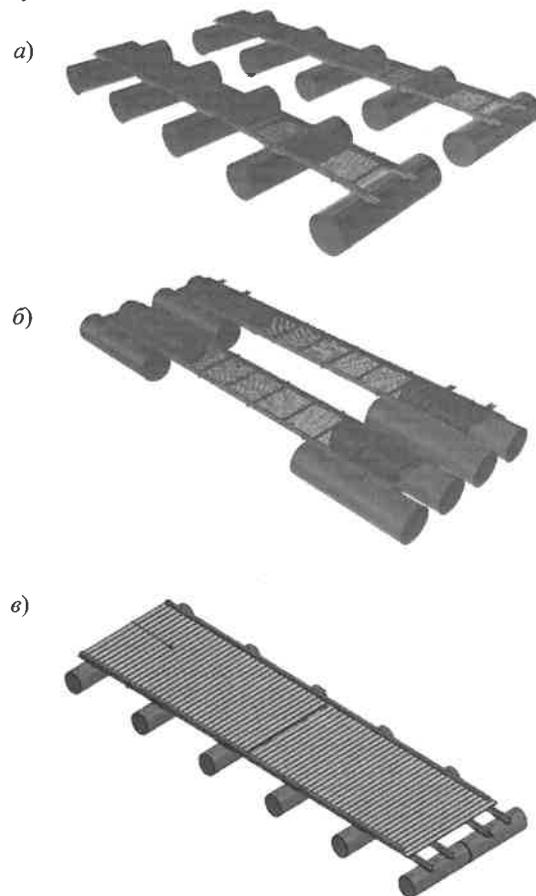


Рисунок 1 – Варианты наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под автомобильную нагрузку:
а – с продольным расположением плавучих опор;
б – с поперечным расположением плавучих опор;
в – с использованием несущей двутавровой балки

При использовании типовых двутавровых балок для восприятия основной нагрузки повышается масса самого пролетного строения и соответственно уменьшается грузоподъемность наплавного моста.

В соответствии с тактико-техническими характеристиками легковых автомобилей и их геометриче-

скими размерами принимаем расчетные схемы наплавных мостов (рисунок 2). Принимаем нагрузку на ось не более двух тонн.

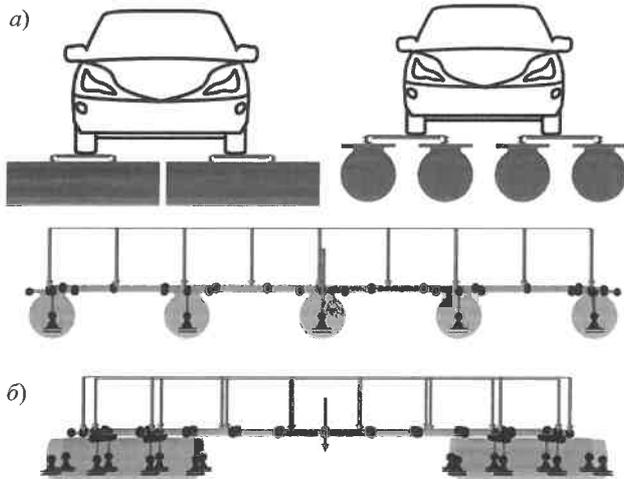


Рисунок 2 – Расчетные схемы загруженности наплавного моста под автомобильную нагрузку с продольным (а) и поперечным (б) расположением плавучих опор

Основы расчета по схеме балки на сплошном упругом основании.

Внешние нагрузки, приложенные к балке, уравновешиваются распределенной по длине реакцией упругого основания, величина которой прямо пропорциональна прогибу балки в данном сечении (осадке моста): $q_x = ky$, где k – коэффициент основания, имеющий размерность кгс/см² и равный реакции основания на единицу длины балки, возникающей при углублении этой единичной площадки в упругое основание на единицу длины. В мостах-лентах $k = \gamma B$, то есть равен произведению объемного веса воды на ширину моста B по расчетной ватерлинии. Для мостов на отдельных опорах $k = \gamma F / l$, где F – расчетная площадь ватерлинии опоры; l – пролет моста в осях плавучих опор.

Зная жесткость балки EI (суммарную жесткость балок пролетного строения моста), имеем

$$M = -EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} \text{ и } \frac{d^2 M}{dx^2} = p = EI \frac{d^4 y_1}{dx^4}. \quad (1)$$

Поскольку на участках, не загруженных активными силами, внешняя распределенная нагрузка p представлена только реакцией основания, то $p = -q = -ky$ и условие равновесия балки в сечении имеет вид

$$EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} + ky. \quad (2)$$

Решение этого дифференциального уравнения изогнутой оси балки берется в виде

$$y = C_1 e^{a_1 x} \cos a_1 x + C_2 e^{a_1 x} \sin a_1 x + C_3 e^{-a_1 x} \cos a_1 x + C_4 e^{-a_1 x} \sin a_1 x, \quad (3)$$

где a_1 – упругая характеристика системы «балка – основание»,

$$a_1 = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}. \quad (4)$$

Для бесконечно длинной балки (рисунок 3) в бесконечности прогиб равен нулю ($y = 0$). При наличии в решении дифференциального уравнения непрерывно возрастающей функции это возможно только при $C_1 = C_2 = 0$, и первые два члена уравнения исчезают [2].

Полагая начало координат в сечении под нагрузкой $P = 1$, стоящей неподвижно, из симметрии системы получим начальный угол поворота $\varphi = y_0 = 0$ и перерезывающую силу $Q_0 = 0,5 = -EI y'''$. Взяв производные y_1 и y''' от основного решения и решив систему, получим

постоянные интегрирования: $C_3 = C_4 = \frac{a_1}{2k} e$ [3].

$$y = \frac{a_1}{2k} e^{-a_1 x} (\cos a_1 x + \sin a_1 x) = \frac{a_1}{2k} \eta_x. \quad (5)$$

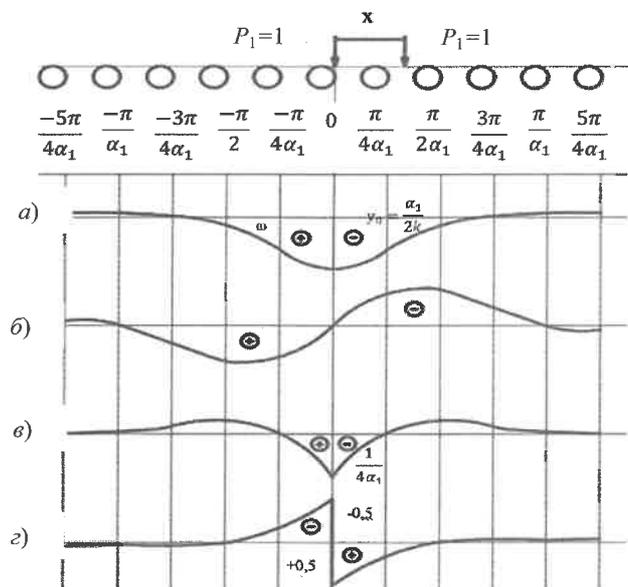


Рисунок 3 – Линия влияния деформаций и усилий в середине речной части наплавного моста неразрезной системы:

$a - \partial n_{x_0} = \text{л.в. } t_{ox}$; $b - \partial n_{\varphi_{x_0}} = \text{л.в. } \varphi_{ox}$; $c - \partial n_{M_{x_0}} = \text{л.в. } M_{ox}$;
 $d - \partial n_{Q_{x_0}} = \text{л.в. } Q_{ox}$

Выбор оптимального варианта посредством моделирования прогиба с помощью программного продукта.

С помощью программного продукта Autodesk Inventor Professiona смоделирована конструкция двух основных принятых инженерных решений наплавного моста под автомобильную нагрузку.

Моделирование прогибов с помощью программного продукта (рисунок 4) показало, что распределение наплавных опор по всей длине пролетного строения значительно снижает прогиб.

В свою очередь при использовании пролетного строения СРММП-1,3 и продольном расположении плавучих опор прогиб в пролетном строении превышает 32 мм и является критическим.

Таким образом, одним из положительных инженерных решений является расположение плавучих опор попеременно пролетного строения.

При этапе моделирования в расчетную схему могут закладываться различные параметры, будь то нагрузка или сечение элементов конструкций. Это позволяет производить моделирование инженерных конструкций нового образца под заданную нагрузку [4].

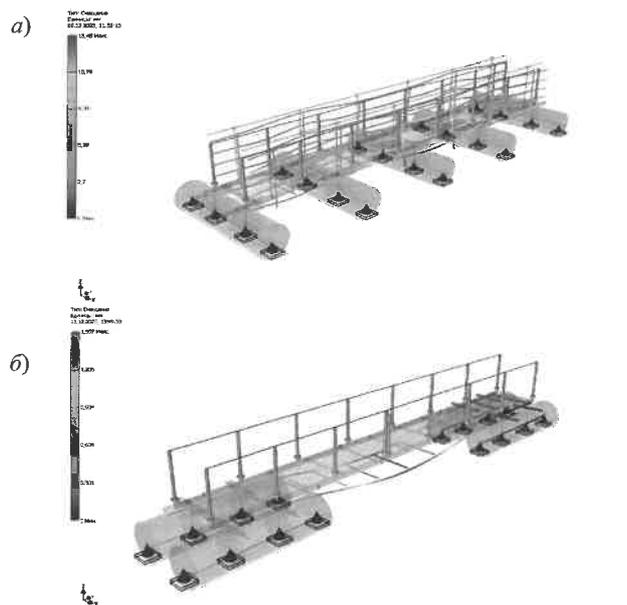


Рисунок 4 – Моделирование прогибов с помощью программного продукта Autodesk Inventor Professional с продольным (а) и поперечным (б) расположением плавучих опор

Количество плавучих опор на одну ось пролетного строения обеспечивает заданную нагрузку в две тонны на ось. За счет уменьшения расстояния между плавучими опорами существующее пролетное строение позволяет воспринимать заданную нагрузку без критических деформаций.

Вывод. Разработка инженерных решений быстро-возводимых сборно-разборных мостов под заданную нагрузку является актуальным направлением развития данной концепции мостов. Путем моделирования различных задач, нагрузок с помощью программных комплексов и существующих конструкций быстро-возводимых мостов проектировщик разрабатывает новые инженерные решения технических объектов под заданную нагрузку.

Список литературы

- 1 Поддубный, А. А. Особенности применения сборно-разборных быстро-возводимых мостов / А. А. Поддубный, И. С. Демидович // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 39–41.
- 2 Poddubny, A. A. Dynamic Loading of the Rod at a Sudden of Elastic Foundation Structure / A. A. Poddubny, V. A. Gordon // IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – P. 1–18.
- 3 Added stress of a cantilever under sudden alterations in its foundation / A. A. Poddubny [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2497, is. 1. – P. 1–10.
- 4 Поддубный, А. А. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 42–44.

Получено 16.10.2023

A. A. Poddubny, E. V. Pechanov. Engineering solutions for an automobile floating prefabricated bridge for a maximum axial load of up to two tons.

Variants of schemes for a floating, prefabricated, prefabricated bridge for vehicle loads are being considered. Engineering and technical solutions for a floating bridge are presented using 3D modeling of existing inventory prefabricated prefabricated bridges. The possibility of 3D modeling and design of new structures of prefabricated bridges under a given load is analyzed.