

**ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС**

УДК 624.21.02

*А. А. ПОДДУБНЫЙ*, кандидат физико-математических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, *В. А. ГОРДОН*, доктор технических наук, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

**РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО СБОРНО-РАЗБОРНОГО МОСТОВОГО ПРОЛЕТА**

Рассматривается разработка и изготовление малогабаритного сборно-разборного мостового пролета, предназначенного для быстрой установки пешеходных низководных мостов в труднодоступных местах, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий.

**Введение.** Создание быстровозводимых мостов сегодня является очень актуальной задачей. В Республике Беларусь и в других странах мира немало мест, где необходимо комфортное перемещение населения, а инженерно-геологические условия не позволяют этого сделать без огромных материальных затрат. В процессе выполнения государственной задачи и проведения научно-исследовательской работы шифр «Строения» был разработан и изготовлен малогабаритный сборно-разборный мостовой пролет. Это изобретение относится к области строительства, в частности, к мостам сборно-разборным, предназначенным для быстрой установки пешеходных низководных мостов в труднодоступных местах, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий. Основной задачей при его разработке являлось снижение трудоемкости монтажа мостового пролета, упрощение конструкции для уменьшения массы и количества деталей, снижение стоимости при изготовлении, сборке и эксплуатации.

**Конструктивные особенности изготовления малогабаритного сборно-разборного мостового пролета (МСРМП).** Составными частями МСРМП являются главные балки, пешеходный настил, перильное ограждение.

Малогабаритный сборно-разборный мостовой пролет состоит из двух главных балок (поз. 1 на рисунке 1 и поз. 2 на рисунке 2), изготовленные из профильной трубы по ГОСТ 30245–2003 сечением 120×80×5 мм длиной 6 м, марки стали не ниже С245 по ГОСТ 27772–1988.

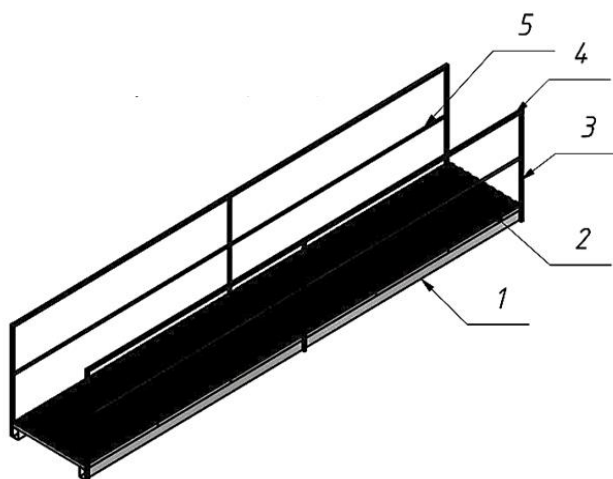


Рисунок 1 – Общий вид малогабаритного сборно-разборного мостового пролета

Пешеходный настил выполнен из уголков по ГОСТ 8509–993 поперечных и продольных связей сечением 40×40×4 мм и просечно-вытяжного листа ПВЛ 506 по ГОСТ 8706–1978, сечением 1,0×1,0 м (поз. 2 на рисунке 2), марки стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Вид с торца

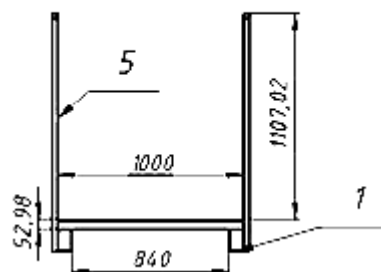


Рисунок 2 – Вид с торца малогабаритного сборно-разборного мостового пролета

Перильное ограждение выполнено из уголка по ГОСТ 8509–1993 сечением 30×30×3 мм, состоит:

- из стойки перил высотой 1,25 м (поз. 3 на рисунках 1, 3);
- перил длиной 6 м (поз. 4 на рисунках 1, 3);
- продольного усиления из полосы стали по ГОСТ 103–2006 сечением 30×4 мм, длиной 6 м (поз. 5 на рисунках 1–3) марки стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

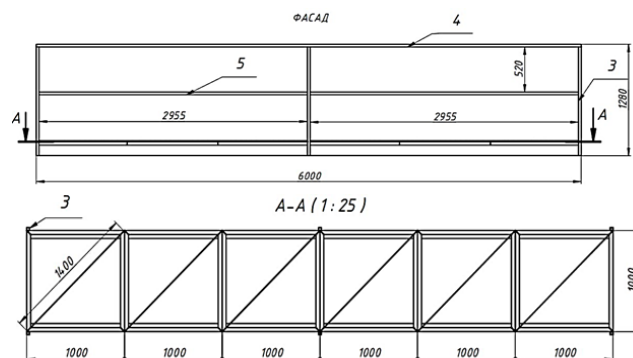


Рисунок 3 – Чертеж малогабаритного сборно-разборного мостового пролета

Изготовление малогабаритного сборно-разборного мостового пролета можно организовать как на предприятиях, так и в полевых условиях. При этом все его

элементы рассчитаны таким образом, что не составляет трудностей их перевозить любым видом транспорта, производить погрузочно-разгрузочные работы без использования специальной техники.

**Особенности монтажа малогабаритного сборно-разборного мостового пролета (МСРМП).** Монтаж элементов МСРМП необходимо производить на подготовленные опоры, устанавливаемые на различные виды фундамента.

В качестве основного несущего элемента МСРМП принимаются главные балки, которые выполнены из профильной трубы по ГОСТ 30245–2003 сечением  $120 \times 80 \times 5$  мм длиной 6 м (поз. 1 на рисунке 1). Марка стали не ниже С245 по ГОСТ 27772–1988.

Уголки поперечных и продольных связей пешеходного настила крепятся к просечно-вытяжному листу ПВЛ 506 при помощи сварного шва по ГОСТ 5264–1980.

Пешеходный настил к главным балкам крепится при помощи сварного шва по ГОСТ 5264–1980 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Установка главных балок и пешеходного настила

Перильное ограждение крепится к главным балкам при помощи сварного шва по ГОСТ 5264–1980. Элементы перильного ограждения крепятся между собой сварными швами по ГОСТ 5264–1980 (рисунок 5).



Рисунок 5 – Установка перильного ограждения

Использование малогабаритного сборно-разборного мостового пролета позволяет за счет минимального количества элементов составных частей снизить массу конструкции и трудоемкость монтажа (демонтажа) обо-

рудования, что дает возможность переносить элементы вручную и монтировать его в любом труднодоступном месте.

**Расчет элементов малогабаритного сборно-разборного мостового пролета (МСРМП).** Одной из важных проблем при проектировании является анализ чувствительности несущих конструкций к структурным перестройкам и повреждениям под нагрузкой при эксплуатации типа внезапно выключающихся связей, частичных разрушений, трещин, расслоений и т. д. Получение такой информации для реальных конструкций требует разработки специальных методов, так как данная проблема не может быть решена универсальным методом. С позиции строительной механики в этих задачах возникает необходимость расчета конструктивно-нелинейных конструкций, изменяющих расчетную схему под нагрузкой. Особо важным является учет внезапности образования дефекта. До возникновения дефекта напряженно-деформированное состояние конструкции определялось статическим воздействием нагрузки и реакции основания. При внезапном образовании повреждения или структурной перестройки моментально снижается общая жесткость несущей системы, нарушается статическое равновесие, и система приходит в движение, в ходе которого перераспределяются и растут деформации и внутренние силовые факторы. Такое динамическое догружение приводит к нарушению штатного функционирования конструкции – отказам, потере несущей способности, прогрессирующему разрушению.

Каждый элемент МСРМП был рассчитан под заданную нагрузку с заданным запасом прочности.

Рассмотрим пример прочностного расчета стальной балки из профильной трубы  $120 \times 80 \times 5$  мм при прямом изгибе [1]. Балка нагружена сосредоточенными силами  $F$  и равномерно распределенной нагрузкой  $q$ .

Расчетная схема представлена на рисунке 6.

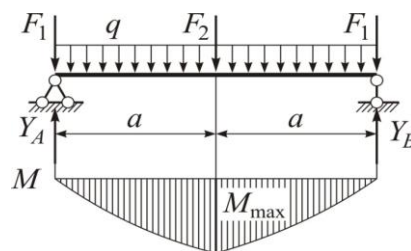


Рисунок 6 – Расчетная схема балки и эпюра максимального изгибающего момента ( $M_{\max}$ )

*Исходные данные:*

–  $a = 3,0$  м;  $F_1 = 0,15$  кН (вес перильного ограждения);

–  $F_2 = 4,1$  кН (вес трех человек, перильное ограждение);

–  $q = 0,642$  кН/м (собственный вес балки  $120 \times 80 \times 5$  мм длиной 6 м –  $0,144$  кН/м; пешеходный настил: из уголков поперечных и продольных связей сечением  $40 \times 40 \times 4$  мм –  $0,06$  кН/м, просечно-вытяжного листа настила ПВЛ 506, сечением  $1,0 \times 1,0$  м –  $0,188$  кН/м; снеговая нагрузка –  $0,25$  кН/м);

–  $R = 210$  МПа (расчетное сопротивление стали балки при изгибе);

–  $W_x = 58,84$  см<sup>3</sup> (момент сопротивления балки  $120 \times 80 \times 5$  мм из таблицы 2, ГОСТ 30245–2003).

*Определение опорных реакций:*

Для определения опорных реакций балки ( $Y_A$ ,  $Y_B$ ) составим уравнения равновесия сил, действующих на балку:

$$Y_A = Y_B = \frac{2F_1 + F_2 + qa}{2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 0,15 + 4,1 + 3 \cdot 0,642 \cdot 3}{2} = 4,13 \text{ кН.}$$

Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max}^{\text{лев}} = Y_A a - F_1 a + \frac{qa^2}{2} = 4,13 \cdot 3 - 0,15 \cdot 3 +$$

$$+ \frac{0,642 \cdot 3^2}{2} = 4,13 \text{ кНм.}$$

Максимальное нормальное напряжение

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}^{\text{лев}}}{W_x} = \frac{10 \cdot 10}{58,84 \cdot 10} = 170 \text{ МПа,}$$

где  $W_x$  – момент сопротивления по оси  $x$ , принят из исходных данных.

Выполняем проверочный расчет:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma],$$

где  $[\sigma]$  – допускаемые нормальные напряжения.

Для строительных конструкций используются соответствующие расчетные сопротивления ( $R = 210$  МПа).

$$170 \text{ МПа} < 210 \text{ МПа.}$$

Вывод – условия прочности выполняются.

Строительство производилось на структурно-неустойчивых грунтах, то есть изменяющих свою структуру под внешними влияниями, дающих просадку.

На несущую способность оснований горизонтально нагруженных фундаментов большое влияние оказывает материал, форма и размеры подземной части сваи (стержня), глубина погружения в грунт, характеристики грунта, величина, направления и место приложения горизонтальных сил и т. д.

Существующие до настоящего времени теоретические методы расчета сооружений, опирающихся на свайные основания, очень часто не совпадают с данными практических экспериментов. Численные результаты решения такого типа задач сильно отличаются между собой. Это объясняется главным образом слабой изученностью совместности работы конструкции и основания. Это может привести к разрушению недостаточно правильно рассчитанных конструкций и в дальнейшем большим финансовым затратам для устранения последствий катастроф. Как показал практический анализ возникающих катастроф, важную роль играет в расчетах решение нелинейных задач. В строительной механике физическая нелинейность – это отклонение от закона Гука, геометрическая нелинейность – это отказ от рассмотрения уравнений равновесия по недеформированному состоянию, конструктивная нелинейность – это учет изменения расчетной схемы в процессе деформирования. С учетом сказанного выше предлагается разработанная методика расчёта частично погруженного стержня в упругие основания, с целью ее дальнейшей апробации, сравнения численных результатов с экспериментальными данными и последующего применения в расчетной практике.

Поэтому с целью увеличения живучести моста были произведены расчеты по специально разработанным методикам.

При расчете свайного фундамента была применена методика расчета критической силы сжатого стержня, частично опертого на упругое основание Винклера. Ре-

шив эту задачу, мы оценили величину «условной силы» в долях известной критической силы такого же, но свободного (без основания) стержня. Это позволило определить коэффициент, характеризующий данную систему «стержень – основание», обоснованно выбрать одну из трех функций прогибов (форм потери устойчивости) и далее определить критическую силу на базе этих функций и не допустить потерю устойчивости свайного фундамента. Подробно эта методика рассмотрена в работе [2].

Так как рассматриваемый мост построен на структурно-неустойчивых грунтах, была применена методика определения динамических догрузок стержня при внезапном изменении структуры упругого основания. Разработанная математическая модель процесса позволяет последовательно решить следующие задачи.

1 Определить статический прогиб и изгибающий момент в балке, опирающейся на упругое основание Пастернака в соответствии с граничными условиями, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой заданной интенсивности. Прогиб используется в дальнейшем как начальное условие динамического процесса (колебаний), возникающего после внезапного образования дефекта основания. Изгибающий момент используется для сравнения статических внутренних усилий в балке с динамическими в ходе колебаний.

2 Определить частоты и формы собственных изгибных колебаний балки, опирающейся на упругое основание Винклера.

3 Исследовать вынужденные изгибные колебания нагруженной балки на основании Винклера путем разложения нагрузки и статического прогиба, полученного еще на основании Пастернака, по формам собственных колебаний балки на основании Винклера. Таким образом, расчет вынужденных колебаний строится методом модального разложения исходного состояния и нагрузки по методам нового состояния.

Для анализа перемещений и напряжений в балке при взаимодействии ее с упругим основанием во всех задачах используется метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояния произвольных сечений балки.

Таким образом, была рассмотрена структурная перестройка системы «балка – основание», заключающаяся во внезапном преобразовании основания Пастернака в основание Винклера, то есть во внезапной утрате основанием свойства сдвиговой жесткости, и это привело к радикальному преобразованию напряженно-деформированного состояния балки:

– изгибающие моменты во всех сечениях стали знакопеременными;

– изменилось положение опасного сечения (для всех значений жесткостей опасным становится середина сечения  $\xi = 0,5$ );

– абсолютные значения изгибающих моментов значительно увеличиваются – при этом большей жесткости системы «балка – основание» соответствует большее относительное приращение динамического изгибающего момента к статическому значению.

Полученные результаты исследования показали существенные приращения напряжений и значительные изменения картины напряженно-деформированного состояния, вызванные внезапным изменением структуры и расчетной схемы рассмотренной модели «балка – основание». Подробно эта методика рассмотрена в работе [3].

Все проведенные расчеты в совокупности позволили принять правильное решение для определения элементов конструкций малогабаритного сборно-разборного мостового пролета с запасом прочности не менее 20 %.

**Апробация результатов.** В соответствии с требованиями заказчика был разработан малогабаритный сборно-разборный мостовой пролет (МСРМП) и выполнены следующие работы:

- все элементы МСРМП спроектированы и рассчитаны на заданную нагрузку;
- разработана техническая документация для изготовления МСРМП;
- изготовлено на заводе более 100 пог. м МСРМП;
- произведено строительство моста более 100 пог. м на структурно- неустойчивых грунтах;
- мост проходит испытание с учетом изменяющихся граничных условий его эксплуатации (рисунок 7).



Рисунок 7 – Эксплуатация моста на структурно-неустойчивых грунтах с применением малогабаритного сборно-разборного мостового пролета

Получено 31.03.2021

**A. A. Poddubny, V. A. Gordon.** Development and manufacture of a small-size collapsible bridge span.

The development and manufacture of a small-size collapsible bridge span designed for quick installation of pedestrian low-water bridges in hard-to-reach places, in emergency situations and in the elimination of natural disasters is considered.

**Вывод.** Разработка и изготовление малогабаритного сборно-разборного мостового пролета позволили за счет минимального количества элементов составных частей снизить массу конструкции и трудоемкость монтажа (демонтажа) оборудования, что дало возможность переносить элементы вручную и монтировать их в любом труднодоступном месте. А применение разработанных методик расчета позволило обоснованно принять правильное решение для определения элементов конструкций МСРМП с запасом прочности не менее 20 %. Построить мост на структурно-неустойчивых грунтах с высокой степенью надежности, в кратчайшие сроки и минимальными материальными затратами. По полученным результатам проводится научно-исследовательская работа, шифр – Строе-ние. Подана заявка на регистрацию изобретения.

#### Список литературы

- 1 **Старовойтов, Э. И.** Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 376 с.
- 2 **Поддубный, А. А.** Методика расчёта критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1(38). – С. 49–52.
- 3 **Poddubny A.** Dynamic Loading of the Rod at a Sudden Change of Elastic Foundation Structure / A. Poddubny, V. Gordon // IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 1079, Chapter. Citation – 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 042076.