

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2020, №2, Том 7 / 2020, No 2, Vol 7 <https://t-s.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/25SATS220.pdf>

DOI: 10.15862/25SATS220 (<http://dx.doi.org/10.15862/25SATS220>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Томилов С.Н. Влияние монтажных соединений секций разборного моста на его напряженно-деформированное состояние // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №2, <https://t-s.today/PDF/25SATS220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/25SATS220

For citation:

Tomilov S.N. (2020). Influence of mounting joints of sections of a collapsible bridge on his stress-strain state. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/25SATS220.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/25SATS220

УДК 624.21.012.45

ГРНТИ 73.31.13

Томилов Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск Россия

Доцент кафедры «Автомобильные дороги»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: serg_tomilov@mail.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=990391

Влияние монтажных соединений секций разборного моста на его напряженно-деформированное состояние

Аннотация. Временные мосты необходимы для обеспечения движения при возведении или ремонте (реконструкции) капитальных мостовых сооружений, оперативной связи прерванных путей в различных аварийных ситуациях, для разовых или сезонных транспортных сообщений. В мостах такого назначения целесообразны мобильные быстровозводимые конструкции многократного применения. Инвентарные комплекты сборно-разборных мостов разрабатывались и производились прежде всего в интересах военного ведомства, но в настоящее время широко востребованы и применяются в гражданском секторе мостостроения в силу их экономичности, мобильности, доступности в транспортировке.

Среди прочих, в том числе и современных разборных конструкций мостов, особое место занимает средний автомобильный разборный мост (САРМ), разработанный в 1968 г. и модернизированный в 1982 г. для нужд Минобороны СССР. В процессе вывода накопленных на хранении комплектов САРМ в гражданский сектор строительства выяснилась значительная востребованность этих конструкций, обусловленная следующими их преимуществами: полная укомплектованность всеми элементами моста, включая опоры; возможность перекрытия пролетов 18,6, 25,6, 32,6 м с габаритами ездового полотна 4,2 м при однопутном и 7,2 м при двухпутном проезде. Паспортная грузоподъемность обозначена как 40 т при однопутном проезде и 60 т при двухпутном проезде.

Так как по ряду геометрических и технических параметров конструкции САРМ не в полной мере соответствуют требованиям современных норм для капитальных мостов, то применение их ориентировано в основном как временных.

Следует отметить, что при незначительной доработке – постановке современных ограждений и двухпутной поперечной компоновке секций для однополосного движения можно

добиться соответствия требуемым геометрическим параметрам ездового полотна и общей грузоподъемности для мостов на дорогах общего пользования IV и V технической категории.

В статье рассматривается конструктивная особенность штыревых монтажных соединений секций разборного пролетного строения как фактор, определяющий грузоподъемность, характер общих деформаций и в итоге влияющий на транспортно-эксплуатационные характеристики мостового сооружения.

Целью настоящего исследования является анализ работы штыревых монтажных соединений секций пролетного строения САРМ с оценкой напряженного состояния элементов узла соединения. Новизной в рассмотрении вопроса полагаем оценку прочности элементов штыревых соединений и ее влияние на общие деформации – прогибы главных балок.

Ключевые слова: пролетное строение; нижний пояс; верхний пояс; штыревое соединение; проушина; прочность; прогиб

Введение

Наряду с постоянными, капитальными мостами на автомобильных дорогах общего пользования востребованы сооружения на дорогах временных, объездных, внутрихозяйственных с приоритетом сборно-разборности и мобильности конструкций.

Прокладка новых дорог, а также ремонты и реконструкции существующих неизбежно сопровождаются временными мостами, первоначально пропускающими движение основной магистрали или решающими технологические задачи строящихся сооружений. Подобные сооружения могут быть пионерными в развитии транспортных сетей регионов с решением освоения удаленных сырьевых районов.

В книге А.В. Кручинкина «Сборно-разборные временные мосты» [1] сборно-разборные мосты классифицированы как временные с меньшим, чем у постоянных мостов сроком службы, обусловленным продолжительностью выполнения конкретных задач. Так, для пропуска основного движения и обеспечения технологических нужд при строительстве нового или ремонте (реконструкции) существующего моста срок службы временного определен от нескольких месяцев до нескольких лет. Для транспортного обеспечения лесоразработок, разработки и добычи полезных ископаемых с ограниченными запасами временные мосты могут служить до 10–20 лет [1]. Временные мосты применяют также для обеспечения транспортного сообщения сезонного характера и для разовых транспортных операций.

Особая роль отводится временным мостам в чрезвычайных ситуациях, когда решающее значение имеют мобильность и быстрота возведения для срочного восстановления прерванного движения транспорта.

В силу особенностей применения к временным мостам как отдельной ветви мостостроения уделяется достаточно много внимания и, несмотря на развитие сети дорог, повышение технического уровня и надежности постоянных сооружений, задача совершенствования временных средств обеспечения переправ остается актуальной [2].

Что касается материала временных мостов, то традиционно применялась древесина как широко распространенный и достаточно доступный природный ресурс. В настоящее время сталь, конкурируя с железобетоном, активно расширяет свое применение в сфере мостостроения становясь все более доступным и обладающим лучшим показателем «прочность–масса» материалом. Давно проявилась тенденция проектирования и строительства стальных пролетных строений постоянных мостов даже средних и малых, особенно в удаленных территориях с недостаточной транспортной доступностью и слабо развитой

инфраструктурой. Разумеется, для мобильных и быстровозводимых временных мостов сталь – давно признанный и практически единственно возможный материал.

Конструктивное развитие временных мостов можно разделить на следующие направления:

- цельноперевозимые конструкции максимальной заводской готовности, как например «пакетные» пролетные строения, полностью готовые для пропуска транспорта после их установки на опоры [3];
- складные пролетные строения, способные трансформироваться для уменьшения габаритов при их перевозке¹ [4];
- сборно-разборные² [5; 6].

Разборность конструкций обусловлена необходимостью в перекрытии пролетов длиной, превышающей габаритные возможности транспортировки, отсюда и большое разнообразие исполнения временных мостов такого типа. Членение пролетного строения на возможно меньшие части с целью ускорения и удобства сборки наиболее удачно реализовано в Российской разработке «Тайпан» (патент РФ 137558³), в которой отдельные «модули» не только упрощают сборку-разборку без привлечения тяжелой техники, но и являются универсальными монтажными марками, позволяющими собирать мосты разных габаритов и грузоподъемности [7; 8].

Ожидается, что сборно-разборные мобильные мостовые конструкции приоритетным образом разрабатывались и выпускались для нужд военного ведомства и с течением времени неизбежно попадали в гражданский сектор мостостроения. Обзор некоторых подобных конструкций приведен в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры некоторых инвентарных сборно-разборных мостов

Наименование	Максимальный пролет, габарит ездового полотна	Показатели грузоподъемности
МАРМ (малый автомобильный разборный мост)	L = 9,3 м, Г = 4,2 м	50 т
ММП (мост малых пролетов)	L = 10 м, Г = 4,5 м	80 т
САРМ (средний автомобильный разборный мост)	L = 32,6 м, Г = 4,2 м Г = 7,2 м	40 т 60 т
БАРМ (большой автомобильный разборный мост)	L = 52,5 м, Г = 7,0 м	60 т
ТАРМ (тактический автодорожный разборный мост)	L = 8,5 м, Г = 3,8 м	40 т
ТРМ (тяжелый разборный мост)	L = 52,5 м, Г = 6,0 м	60 т
РММ-4 (разборный металлический мост)	L = 34 м, Г = 4,0 м	20 т – 60 т
ГАРМ (горный автодорожный разборный мост)	L = 21–120 м, Г = 4,2 м	60 т
РЭМ-500 (сборно-разборная металлическая эстакада)	L = 12,5 м, Г = 4,0 м (со специальным настилом)	60 т

Составлено автором

¹ Пат. 2509186 Российская Федерация, МПК E01D 15/12, 15/127. Мобильное пролетное строение моста и способ его транспортировки и монтажа / П.А. Александренков, А.В. Токарев, О.И. Косенков и др. Заявл. 10.04.2012. Оpubл. 10.03.2014. Бюл. № 7.

² Пат. 2580957 Российская Федерация, МПК E01D 15/133. Универсальный автодорожный разборный мост / А.А. Гусев, Е.Д. Шутов, В.Е. Николаевский и др. Заявл. 10.11.2014. Оpubл. 10.04.2016. Бюл. № 10.

³ Пат. 137558 Российская Федерация, МПК E01D 15/133. Сборно-разборный универсальный мост / А.А. Абакумов, Д.В. Проценко, Р.А. Шаршов. Заявл. 23.09.2013. Оpubл. 20.02.2014.

Несмотря на наличие современных разработок³ [7; 8], инвентарные комплекты сборно-разборных мостов в процессе вывода их из мобилизационного резерва широко востребованы в гражданском секторе мостостроения в силу их экономичности, мобильности, доступности в транспортировке и многократности применения [9; 10].

Среди описанных в таблице 1 инвентарных комплектов мостов особое место занимает САРМ (средний автомобильный разборный мост)⁴. Разработанный в 1968 г. и модернизированный в 1982 г. инвентарный комплект позволяет перекрывать пролеты 18,6, 25,6 и 32,6 м с габаритом ездового полотна 4,2 м при однопутном и 7,2 м при двухпутном проезде (рисунок 1). Удобный и эффективный в применении комплект САРМ в процессе вывода накопленных на хранении конструкций в гражданский сектор строительства показал значительную востребованность, обусловленную, кроме отмеченных выше преимуществ также и полную укомплектованность всеми элементами моста, включая опоры. Факт широкого применения конструкций САРМ в гражданском мостостроении отмечен тем, что федеральное дорожное агентство «Росавтодор» в 2013 году выпустило нормативный документ ОДМ 218.2.029 – 2013⁵, специально разработанный для применения этого инвентарного комплекта.

К недостаткам проекта САРМ следует отнести несоответствия некоторых его геометрических и конструктивных параметров действующим нормам проектирования: габариты ездового полотна 4,2 м при однопутном и 7,2 м при двухпутном проезде, также штатные инвентарные ограждения (колесоотбой) не соответствуют требованиям действующих норм СП 35.1333.2011⁶, ГОСТ Р 52607-2006⁷, ГОСТ 26804-2012⁸. Выполнение требований указанных выше норм может быть обеспечено ограничением двухсекционной поперечной компоновки однопутным проездом с установкой добавочных ограждений [10] или нестандартной поперечной компоновкой в виде трех и более секций, рекомендуемой нормами ОДМ 218.2.029 – 20135.

Пролетное строение среднего автомобильного разборного моста (САРМ) в продольном направлении набирается из средних и концевых секций расчетной длиной 7,0 и 5,8 м соответственно. Количество средних секций (1, 2 или 3) определяет требуемую в каждом конкретном случае длину пролета 18,6, 25,6, 32,6 м (рисунок 1).

Объединение секций в продольном направлении в сечениях 3 (рисунок 1) выполняется с помощью штырей, вставляемых в отверстия (проушины) верхнего и нижнего поясов секций. В поперечном направлении в стыке одной секции расположены два штыревых соединения в уровне верхнего и два – в уровне нижнего пояса (рисунок 2).

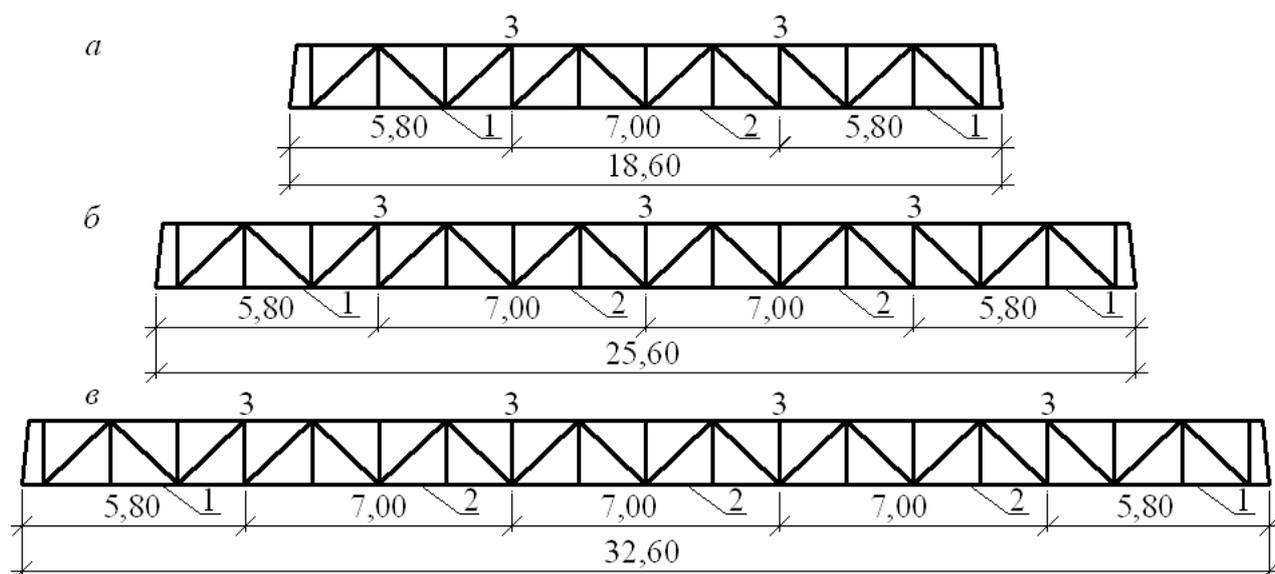
⁴ Средний автодорожный разборный мост. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Министерство обороны СССР. – М.: Военное изд-во мин. обороны СССР, 1982. – 137 с.

⁵ Методические рекомендации по использованию комплекта среднего автодорожного разборного моста (САРМ) на автомобильных дорогах в ходе капитального ремонта и реконструкции капитальных искусственных сооружений: Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.029 – 2013. – М.: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР), 2013. – 57 с.

⁶ Свод правил. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменениями № 1, 2) / ОАО ЦНИИС. – М.: Стандартинформ, 2019.

⁷ ГОСТ Р 52607-2006. Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования / ФДА Минтранса РФ, ФГУП РосдорНИИ, Российский технический центр безопасности дорожного движения, ОАО СоюздорНИИ, МАДИ (ГТУ), ДО БДД МВД России, НИЦ БДДМВД России. – М.: Стандартинформ, 2007, – 21 с.

⁸ ГОСТ 26804-2012. Ограждения дорожные металлические барьерного типа. Технические условия / ЗАО СоюздорНИИ, ФГУП РосдорНИИ, ООО НПП «СК Мост». – М.: Стандартинформ, 2014, – 24 с.

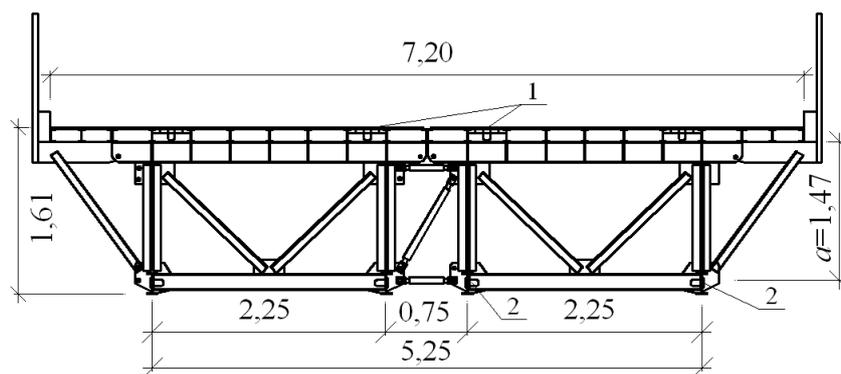


1 – концевая секция; 2 – средняя секция; 3 – сечения штыревых соединений секций

Рисунок 1. Фасад пролетного строения разборного моста САРМ
с вариантами длины 18,6 м (а), 25,6 м (б), 32,6 м (в) (разработано автором)

Каждое соединение верхнего пояса секций включает тягу в виде пластины с двумя отверстиями и два вертикальных штыря, а соединение нижнего пояса выполнено одним горизонтальным штырем через проушины смежных секций (рисунок 4).

Таким образом, продольная сборка пролетного строения осуществляется путем выгрузки и проектного расположения секций, совмещения проушин смежных секций и постановки штырей.



1 – штыревые соединения верхнего пояса; 2 – штыревые соединения нижнего пояса; а – расстояние между осями штыревых соединений

Рисунок 2. Двухсекционная компоновка
поперечного сечения пролетного строения (разработано автором)

Постановка задачи

Штыревое соединение секций пролетных строений позволяет значительно сократить время выполнения работ, но это обстоятельство оборачивается и недостатком – невозможностью обеспечения плотного соединения при работе его на сдвиг. Номинальный диаметр соединительных штырей составляет 79 мм, а отверстий под них и проушин – 80 мм.

Разница в 1 мм необходима для возможности постановки штырей при сборке пролетных строений.

Цель настоящего исследования – оценить напряженное состояние узла штыревого соединения, сравнить возникающие в материале элементов соединения напряжения смятия и среза с прочностными параметрами стали, возможность проявления пластических деформаций штыря и проушин и как следствие – их влияние на общие деформации пролетного строения.

Штыревые соединения как концентраторы напряжений в конструкциях мостов уже привлекали внимание исследователей [11] и также отмечался характерный для транспортных сооружений фактор длительного циклического воздействия [8]. Изначально неплотное соединение «штырь-проушина» и дальнейшая его выработка создает концентрацию напряжения до 20 % против равномерного распределения [11], что может привести к ускорению износа, особенно с учетом циклического и динамического воздействия подвижной автотранспортной нагрузки.

В настоящей статье рассмотрены напряжения смятия и деформации в штыревых соединениях и как их следствие – общие деформации (прогибы) пролетного строения. Оценка напряженного состояния в соединении выполнена исходя из гипотезы равномерного распределения усилий по расчетным сечениям.

Сравнительный расчет выполним для распространенного пролета 32,6 м в следующей последовательности: прочность основного сечения одной секции при изгибе; прочность штыревого соединения по смятию металла проушин; прочность металла штыря на срез.

Паспортная (проектная) грузоподъемность при двухсекционной поперечной компоновке и двухпутном ездовом полотне – временные вертикальные нагрузки Н-13, НГ-60 по нормам СН 200-62⁹. Так как конструкции САРМ запроектированы на нагрузки, уступающие современным, то для обеспечения приемлемой грузоподъемности можно использовать резервы в компоновке – например двухсекционная поперечная компоновка будет пропускать только одну полосу движения, что на практике зачастую не организовано и транспорт движется двумя встречными полосами. Рассмотрим именно такой случай и в качестве полосной автомобильной нагрузки примем А11 по СП 35.1333.2011⁶, хотя и меньшую, чем принятая для нового проектирования А14, но в полной мере отражающую состав транспортных средств регулярного поточного движения. При постоянстве поперечного сечения по длине пролета и исходя из опыта проектирования для оценочного усилия выбираем изгибающий момент.

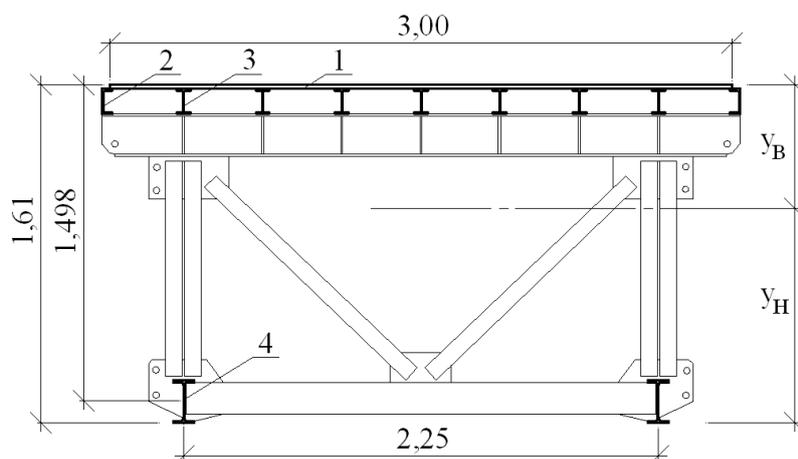
В работе основного сечения одной секции при изгибе участвуют продольные элементы верхнего и нижнего пояса: верхним поясом являются лист настила шириной 3,0 м, продольные швеллеры и двутавры № 12; нижним поясом являются два двутавра № 23Ш2 (рисунок 3).

Предельный момент, воспринимаемый основным сечением секции (рисунок 3)

$$M_{пред} = R_y \frac{I}{y_{max}}, \quad (1)$$

где $R_y = 295$ МПа – расчетное сопротивление стали 15ХСНД; I – момент инерции сечения секции относительно оси изгиба; $y_{max} = \max(y_b; y_n)$ – максимальная ордината расчетного сечения относительно оси изгиба.

⁹ Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб. СН 200-62 / Государственный комитет Совета министров СССР по делам строительства. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 328 с.



1 – лист настила толщиной 0,006 м; 2 – швеллер № 12 по ГОСТ 8239; 3 – двутавр № 12 по ГОСТ 8240; 4 – двутавр № 23Ш2 по ТУ 14-2-24-72

Рисунок 3. Поперечное сечение секции пролетного строения САРМ с выделением продольных элементов с функциями верхнего и нижнего пояса при изгибе (разработано автором)

Данные расчета по (1) приведены в таблице 2.

Для сравнительной оценки несущей способности основного сечения секции (предельный изгибающий момент, таблица 2) представим расчетный изгибающий момент от временной нагрузки А11 для двухпутного проезда, а именно 1 полоса А11 – на 1 секцию в поперечном направлении.

Таблица 2
Расчет предельного изгибающего момента основного сечения секции САРМ

Положение оси изгиба сечения			Момент инерции сечения секции $I, \text{м}^4$	Предельный изгибающий момент $M_{пред}, \text{кН}\cdot\text{м}$
$y_B, \text{м}$	$y_H, \text{м}$	$y_{max}, \text{м}$		
0,383	1,227	1,227	0,0162	3894,9

Составлено автором

Для выделения полезной части грузоподъемности из предельного удерживается изгибающий момент от постоянной нагрузки. Расчетными сечениями по длине пролета принимаем его середину и сечение штыревого соединения, ближайшее к середине пролета. Результаты расчета путем загрузения линий влияния изгибающего момента в выбранных сечениях приведены в таблице 3.

Таблица 3
Расчет предельного изгибающего момента основного сечения секции САРМ

Расчетный пролет, м	Положение сечения	Система расчетных коэффициентов	Расчетный момент, Кн·м	
			От постоянной нагрузки	От временной А11
32,6	В середине пролета	По ГОСТ 33390-2015 ¹⁰	1134,5	5418,6
	В сечении соединения секций		1081,2	5195,3

Составлено автором

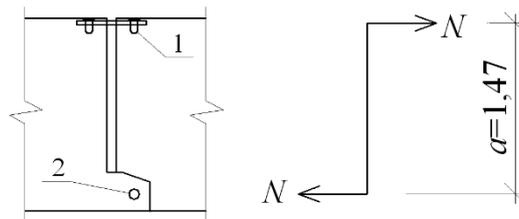
¹⁰ ГОСТ 33390-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия / Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2015. – 27 с.

Как видно, предельный изгибающий момент основного сечения секции (3894,9 кН·м) только на 59,4 % обеспечивает восприятие момента (1134,5 + 5418,6 = 6553,1 кН·м) от суммы постоянной и временной А11 расчетных нагрузок.

Оценить напряженное состояние металла проушин по смятию штырем можно по схеме контакта штыря с внутренней поверхностью проушин, где усилие N с плечом a составляет внутренний момент, уравновешивающий внешний, обусловленный нагрузкой на пролет (рисунок 4).

Следует определить суммарный расчетный изгибающий момент M от постоянной $M_{пост}$ и временной $M_{вр}$ (А11) нагрузок для сечения ближайшего к середине пролета стыка по данным таблицы 3.

$$M = M_{пост} + M_{вр} = 1081,2 + 5195,3 = 6276,5 \text{ кН}\cdot\text{м}. \quad (2)$$



1 – вертикальный штырь верхнего пояса; 2 – горизонтальный штырь нижнего пояса

Рисунок 4. Схема стыка секций пролетного строения

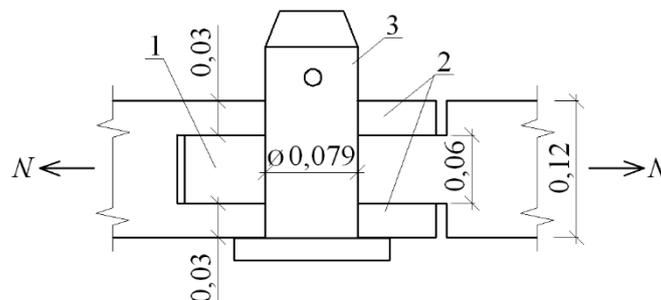
При суммарной толщине элементов проушины нижнего пояса, сминаемых в одном направлении, 0,06 м и диаметре штыря 0,079 м площадь смятия составит $A = 0,06 \cdot 0,079 = 0,0047 \text{ м}^2$ на один контакт (рисунок 5). При наличии двух контактов нижнего пояса в секции напряжение смятия металла проушины составит

$$\sigma_{см} = \frac{N}{A} = \frac{M}{a \cdot 2 \cdot A} = \frac{6276,5 \cdot 10^{-3}}{1,47 \cdot 2 \cdot 0,0047} = 454,2 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Для расчета сечения штыря на срез следует учесть, что каждый из двух контактов на секцию имеет две плоскости среза (рисунок 5), тогда напряжение сдвига

$$\sigma_{сд} = \frac{N}{A_s} = \frac{M}{a \cdot 2 \cdot A} = \frac{6276,5 \cdot 10^{-3}}{1,47 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,0049} = 217,8 \text{ МПа}, \quad (4)$$

где $A_s = 0,0049 \text{ м}^2$ – площадь сечения штыря диаметром 79 мм.



1 – одинарная проушина; 2 – двойная проушина; 3 – штырь

Рисунок 5. Схема штыревого соединения нижнего пояса, вид сверху (разработано автором)

Сравним полученные в (3) и (4) результаты с прочностными характеристиками стали 15ХСНД, из которой изготовлены несущие элементы моста САРМ, таблица 4.

Таблица 4

**Сравнение полученных от воздействия нагрузки
A11 напряжений с характеристиками прочности стали 15ХСНД**

Параметры по ГОСТ Р 55374-2012 ¹¹			Расчетное сопротивление, МПа	
Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Класс прочности	Смятию в цилиндрических шарнирах	Сдвигу (срезу)
490–685	345	С345	210*	172*
Напряжения в соединении при воздействии расчетной нагрузки A11, МПа			454,2	217,8

Примечание: расчетные сопротивления стали смятию и сдвигу определены по таблице 8.3 СП 35.13330.2011⁶ (составлено автором)

Напряжение сдвига в штыре превосходит расчетное сопротивление стали, а напряжение смятия в контакте штырь-проушина превосходит как расчетное сопротивление, так и предел текучести, что означает невыполнение условия прочности, выход металла за предел упругости и накопление пластических деформаций при регулярном и неорганизованном воздействии временной нагрузки A11.

Практическое наблюдение

В организациях, применяющих многократно использованные конструкции САРМ, отмечают значительные провисы (прогибы в незагруженном состоянии) пролетных строений, величина которых для длин 32,6 м доходит до 0,10–0,15 м. Это создает искажение продольного профиля ездового полотна и негативно влияет на пропускную способность и безопасность движения. При этом визуально по линии прогиба отчетливо наблюдаются переломы в узлах штыревых соединений секций. При освидетельствовании таких пролетных строений отмечается повышенный зазор между штырем и отверстием (рисунок 6).



Рисунок 6. Повышенный зазор в штыревом соединении секций пролетного строения САРМ (разработано автором)

Смещения в штыревых соединениях, обусловленные пластическими деформациями перенапряженного металла, определяют величину общих деформаций (прогибов) пролетных строений (рисунок 7).

¹¹ ГОСТ Р 55374-2012. Прокат из стали конструкционной легированной для мостостроения. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 18 с.

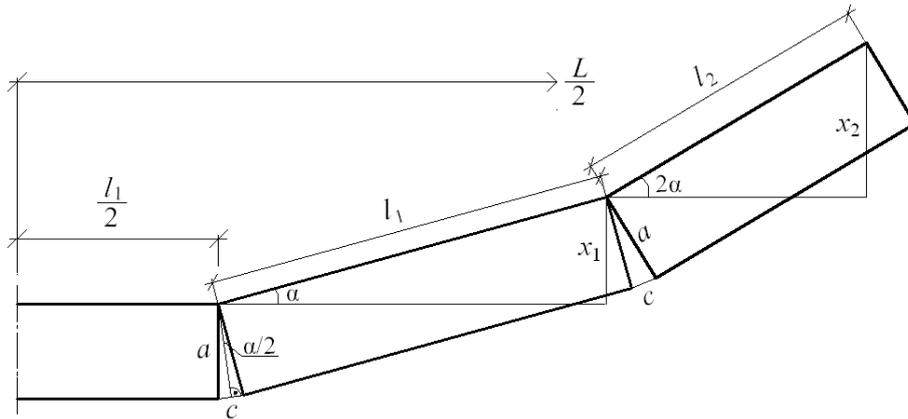


Рисунок 7. Схема общих деформаций вследствие смещения в штыревых соединениях (разработано автором)

Полное смещение (подвижка) на одно соединение $c_0 = c_1 + c_2$, где $c_1 = 1$ мм – исходное конструктивное; c_2 – добавленное за счет смятия в соединении (рисунок 7).

Вертикальное перемещение f (прогиб) в середине пролета для рассмотренного примера будет суммой x_1 и x_2 (рисунок 7).

$$f = x_1 + x_2.$$

Величины x_1 и x_2 можно определить, зная углы α и 2α , которые вычисляются через угол $\alpha/2$.

$$\frac{c}{2a} = \sin \frac{\alpha}{2} \rightarrow \frac{\alpha}{2} = \arcsin \frac{c}{2a}; \quad x_1 = l_1 \sin \alpha; \quad x_2 = l_2 \sin 2\alpha, \quad (5)$$

где a – расстояние между осями штыревых соединений верхнего и нижнего поясов; l_1 – длина средней секции пролетного строения; l_2 – длина концевой секции пролетного строения.

В качестве примера рассмотрим временный объездной мост через р. Черниговка на автодороге Хабаровск – Владивосток «Уссури», который был собран и эксплуатировался в составе одного пролета длиной 32,6 м из комплекта САРМ на период строительства постоянного моста. Были отмечены значительные провисы пролетных строений временного моста величиной в пределах 130–150 мм в середине пролета, что вызвало беспокойство организаторов строительства. При обследовании была установлена выработка всех штыревых соединений главных ферм в среднем на 2,5 мм сверх номинального 1 мм.

Таким образом смещение (подвижка) на одно соединение $c_0 = c_1 + c_2 = 1 + 2,5 = 3,5$ мм, а так как в уровне верхнего пояса в качестве связующего элемента применена продольная тяга с двумя отверстиями и двумя расположенными последовательно штырями, то суммарное смещение, отнесенное к уровню нижнего пояса $c = 3,5 \cdot 3 = 10,5$ мм.

Далее следуют вычисления по формулам (5) при $a = 1,37$ м; $l_1 = 7,0$ м; $l_2 = 5,8$ м.

$$\frac{\alpha}{2} = \arcsin \frac{0,0105}{2 \cdot 1,47} = 0,205^\circ; \quad \alpha = 2 \cdot 0,205 = 0,41^\circ; \quad x_1 = 7,0 \cdot \sin 0,41 = 0,05 \text{ м};$$

$$2\alpha = 2 \cdot 0,41 = 0,82^\circ; \quad x_2 = 5,8 \cdot \sin 0,82^\circ = 0,083 \text{ м}.$$

Полная величина прогиба $f = x_1 + x_2 = 0,05 + 0,083 = 0,133$ м, что вполне согласуется с фактически замеренными величинами f .

Заключение

1. Штыревые монтажные соединения секций разборного пролетного строения временного моста позволяют существенно ускорить процесс возведения и последующей разборки конструкций, однако при этом являются причиной увеличения общих деформаций пролетного строения.

2. Штатное двухпутное движение при двухсекционной компоновке конструкций САРМ под современной автомобильной нагрузкой не обеспечено прочностью как основного сечения секций, так и элементов штыревых соединений.

3. В металле элементов штыревых соединений при современной нагрузке накапливаются пластические деформации, приводящие к выработке контактов «штырь-проушина» и нарастанию общих деформаций (провисов).

4. Ускорению процесса износа элементов штыревых соединений способствует многократная сборка-разборка пролетных строений и их эксплуатация под интенсивной динамической нагрузкой.

5. Образующийся провис пролетного строения создает ненормативное состояние продольного профиля ездового полотна, снижающее пропускную способность и безопасность движения.

6. Изначально разборные конструкции САРМ проектировались под нужды военного ведомства для мобильного и кратковременного применения и штыревые монтажные соединения в полной мере соответствуют такому назначению. При применении в гражданском строительстве эту особенность следует учитывать в разработке проектных решений, назначении и соблюдении режима эксплуатации, например путем уменьшения полос движения или увеличения числа секций в поперечной компоновке.

Дальнейшие исследования видятся в аналитическом обзоре применяемых конструкций разборных мостов, разработке отвечающих современным требованиям проектных решений вариантов поперечной и продольной компоновки пролетных строений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кручинкин А.В. Сборно-разборные временные мосты. – М.: Транспорт, 1987. – 191 с.
2. Тыдень В.П., Малахов Д.Ю., Постников А.И. Реализация современных требований к переправочно-мостовым средствам в концепции выгружаемого переправочно-десантного парома // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – М.: Изд-во МАДИ(ГТУ), 2019. – Вып. 3 (58). – С. 69–74.
3. Томилов С.Н. О применении стальных пакетных конструкций в постоянных мостах // Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского: материалы Восемнадцатой Национальной научно-практической конференции: в 2 т. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 2 т. – С. 360–363.
4. Mohamad Nabil Aklif Biro, Noor Zafirah Abu Bakar. Design and Analysis of Collapsible Scissor Bridge. MATEC Web of Conferences. Vol. 152, 02013 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815202013>.
5. Дианов Н.П., Милородов Ю.С. Табельные автодорожные разборные мосты: учебное пособие. – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2009. – 236 с.
6. Adil Kadyrov, Aleksandr Ganyukov, Kyrgyz Balabekova. Development of Constructions of Mobile Road Overpasses. MATEC Web of Conferences. Vol. 108, 16002 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710816002>.
7. Бокарев С.А., Проценко Д.В. О предпосылках создания новых конструкций временных мостовых сооружений // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 5(24). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/26KO514.pdf>. – С. 1–11.
8. Проценко Д.В. Совершенствование конструктивно-технологических параметров системы несущих элементов и элементов проезжей части универсального сборно-разборного пролетного строения с быстросъемными шарнирными соединениями. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС). Новосибирск: 2018.
9. Матвеев А.В., Петров И.В., Квитко А.В. Оценка по теории инженерного прогнозирования новых образцов мостового имущества МЛЖ-ВФ-ВТ и ИМЖ-500 // Вестник гражданских инженеров. – СПб: Изд-во Санкт-Петербургского гос. арх.-строит. ун-та, 2018. Вып. 4 (69). – С. 138–142.
10. Томилов С.Н., Николаев А.Р. Применение комплекта разборного моста под современные нагрузки // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов (под ред. А.И. Ярмолинского). – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – № 18. – С. 125–128.
11. Сухов И.С. Совершенствование конструктивно-технологических решений шарнирных соединений автодорожных мостов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Научно-исследовательский институт транспортного строительства (ОАО ЦНИИС). М.: 2011.

Tomilov Sergey Nikolayevich

Pacific national university, Khabarovsk, Russia
E-mail: serg_tomilov@mail.ru

Influence of mounting joints of sections of a collapsible bridge on his stress-strain state

Abstract. Temporary bridges are necessary to ensure movement during the construction or repair (reconstruction) of capital bridge structures, operational communication of interrupted tracks in various emergency situations, for one-time or seasonal transport communications. For this purpose, reusable mobile prefabricated structures are advisable. Inventory sets of collapsible bridges were designed and manufactured primarily in the interests of the military department, but are currently widely in demand and are used in the civilian sector of bridge building because of their economy, mobility, and accessibility in transportation.

Among others, including modern collapsible bridge designs, the middle automobile collapsible bridge (CAPM), developed in 1968 and modernized in 1982 for the needs of the USSR Ministry of Defense, occupies a special place. In the process of withdrawing the CAPM sets stored in storage to the civilian construction sector, a significant demand for these structures was found to be due to their following advantages: complete staffing with all elements of the bridge, including supports; the possibility of overlapping spans of 18.6, 25.6, 32.6 m with the dimensions of the driving bed 4.2 m for single-track and 7.2 m for double-track passage. Carrying capacity is designated as 40 tons for single-track passage and 60 tons for double-track passage.

Since, according to a number of geometric and technical parameters, CAPM designs do not fully comply with the requirements of modern standards for capital bridges, their application is mainly oriented as temporary.

It should be noted that with minor refinement – the installation of modern fences and a double-track transverse arrangement of sections for single-lane traffic, it is possible to achieve compliance with the required geometric parameters of the driving bed and the total lifting capacity for bridges on public roads of IV and V of technical category.

The article considers the design feature of the pin mounting joints of sections of a collapsible span as a factor determining the carrying capacity, the nature of general deformations and, as a result, affecting the transport and operational characteristics of the bridge structure.

The purpose of this study is to analyze the operation of the pin mounting joints of the sections of the spans of the CAPM with the assessment of the stress state of the elements of the connection node. We consider the novelty in the consideration of the issue to be an assessment of the strength of the elements of the pin joints and its effect on the general deformations – the deflections of the main beams.

Keywords: span structure; bottom belt; upper belt; pin connection; lug; strength; deflection

REFERENCES

1. Kruchinkin A.V. (1987). *Sborno-razbornye vremennye mosty. [Collapsible temporary bridges.]* Moscow: Transport, p. 191.
2. Tyden' V.P., Malakhov D.Yu., Postnikov A.I. (2019). Implementation of modern requirements for ferry and bridge means in the concept of an unloaded ferry and assault ferry. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University*, 3(58), pp. 69–74 (in Russian).
3. Tomilov S.N. (2018). O primeneniі stal'nykh paketnykh konstruktsiy v postoyannykh mostakh. [*On the use of steel package structures in permanent bridges.*] Khabarovsk: Publishing House of Pacific State University, pp. 360–363.
4. Mohamad Nabil Aklif Biro, Noor Zafirah Abu Bakar (2018). Design and Analysis of Collapsible Scissor Bridge. *MATEC Web of Conferences*, 02013(152). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815202013>.
5. Dianov N.P., Milorodov Yu.S. (2009). *Tabel'nye avtodorozhnye razbornye mosty. [Railway road folding bridges.]* Moscow: Publishing house Moscow Automobile and Road Institute, p. 236.
6. Adil Kadyrov, Aleksandr Ganyukov, Kyrmyzy Balabekova (2017). Development of Constructions of Mobile Road Overpasses. *MATEC Web of Conferences*, 16002(108). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710816002>.
7. Bokarev S.A., Protsenko D.V. (2014). About prerequisites creating new designs temporary bridges. *Naukovedenie*, [online] 5(6), pp. 1–11. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/26KO514.pdf> (in Russian).
8. Protsenko D.V. (2018). Sovershenstvovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov sistemy nesushchikh ehlementov i ehlementov proezzhey chasti universal'nogo sborno-razbornogo proletnogo stroeniya s bystros"emnymi sharnirnymi soedineniyami. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [*Improving the structural and technological parameters of the system of load-bearing elements and elements of the carriageway of a universal collapsible span with quick-detachable articulated joints. The dissertation for the degree of candidate of technical sciences.*] Novosibirsk: Siberian State University of Railway Engineering.
9. Matveev A.V., Petrov I.V., Kvitko A.V. (2018). Assessment according to the theory of engineering forecasting of new samples of bridge property MLZH-VF-VT and IMZh-500. *Bulletin of Civil Engineers*, 4(69), pp. 138–142 (in Russian).
10. Tomilov S.N., Nikolaev A.R. (2018). Primenenie kompleksa razbornogo mosta pod sovremennye nagruzki. [*Use of a folding bridge kit for modern loads.*] Khabarovsk: Publishing House of Pacific State University, pp. 125–128.
11. Sukhov I.S. (2011). Sovershenstvovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy sharnirnykh soedineniy avtodorozhnykh mostov. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [*Improvement of structural and technological solutions of articulated joints of road bridges. Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences.*] Moscow: Research Institute of Transport Construction.