

ПРИМЕНЕНИЕ ГРЕБЕНЧАТЫХ УПОРОВ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ И ДОЩАТО-ГВОЗДЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА

В.А. Уткин, И.И. Готовцев
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Во всем мире строительство мостов с использованием древесных материалов переживает настоящий бум. Передовиками деревянного мостостроения много лет считаются США, где до 80% мостов делается из дерева или материалов на его основе. В России деревянное мостостроение находится в глубоком кризисе и не развивается более 50 лет, хотя потребность в деревянных мостах велика и подобные конструкции могли бы решить немало проблем с российскими дорогами, особенно на периферии. Отсталость проявляется в устаревших конструктивных формах, в несоответствии их ныне действующим нагрузкам, в низкой долговечности, в незащищенности от атмосферных воздействий и т.п., хотя зарубежный опыт свидетельствует об обратном. Статья посвящена внедрению в практику строительства мостов новых дощато-гвоздевых пролетных строений, отвечающих современным требованиям по грузоподъемности, надежности и долговечности.

Материалы и методы. Авторами предложена и описывается новая конструкция пролетного строения из дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков и включенной в совместную работу с ними железобетонной плиты проезжей части. В качестве соединительных элементов между элементами конструкции предложены специальные упоры с гребенчатыми закреплениями в железобетонной плите и нагельными со стальными накладками соединениями с деревянными конструкциями. Исследование напряженно-деформированного состояния предложенной конструкции выполнено с использованием теории составных стержней.

Результаты. Применение монолитной железобетонной плиты проезжей части позволяет защитить несущие деревянные конструкции от увлажнения осадками и загрязнения, от растрескивания под воздействием солнечного излучения и радиации и обеспечить повышение долговечности мостов не менее 50 лет. Применение защитного антисептирования гарантирует обеспечение указанного срока службы, применение предлагаемых соединений для обеспечения совместной работы железобетонной плиты и несущих деревянных конструкций существенно повышает эффективность деревобетонных мостов по сравнению с металлическими и железобетонными. Читинская, Иркутская, Архангельская области, Хабаровский край, республики Саха (Якутия), Бурятия, Карелия, богатые лесом регионы, в которых деревянные мосты еще сохранились и эксплуатируются, больше всех нуждаются в применении деревобетонных пролетных строений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деревобетонные мосты, монолитная железобетонная плита, дощато-гвоздевой блок, гребенчатые упоры, цилиндрические нагели, несущая способность.

Поступила 24.03.20, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Уткин В.А., Готовцев И.И. Применение гребенчатых упоров для объединения железобетонной плиты и дощато-гвоздевой конструкции пролетного строения моста. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

© Уткин В.А., Готовцев И.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

CRESTED SHEAR CONNECTORS APPLICATION TO COMBINE REINFORCED CONCRETE SLAB AND PLANK-NAILED STRUCTURE OF BRIDGE SPAN

V.A. Utkin, I.I. Gotovtsev

FSBEI HE (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education) Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The construction of bridges using timber materials is experiencing a real boom throughout the world. The USA is considered to be a leader, where 80% of the bridges are made of timber or materials based on it. In Russia timber bridge construction has been stagnating for the last 50 years, although there is a need for these bridges. Timber structures could solve many problems with Russian roads, especially in remote areas. Timber structures are widely considered to be outdated, so they cannot meet current requirements of load capacity and durability, also they are vulnerable to atmospheric influences, etc. But foreign experience proves the contrary. The article is devoted to the implementation of new plank-nailed spans that meet current requirements of load capacity, reliability and durability.

Materials and methods. The authors suggest and describe a new span structure. The span consists of plank-timber-nailed-dowel blocks and a reinforced concrete slab generating a composite action. Some special crested shear connectors are suggested as combining elements. The top part works as flexible shear connectors in a reinforced concrete slab. The bottom part works as dowels with steel joints and timbers structures. The investigation of the stress-strain state of the structure has been completed within "compound beam" theory.

Results. The application of the cast-in-place reinforced concrete slab allows to protect supporting timber structures against atmospheric influences, dirt, cracking from the sun rays, radiation and provides at least 50-year durability. The timber preservation provides a specified service life. The application of suggested connection with composite action between a reinforced concrete slab and supporting timber structures increases effectiveness of the composite timber concrete structure compared to steel and reinforced concrete structures. Trans-Baikal territory, Irkutsk and Arkhangelsk Regions, Khabarovsk Territory, the Republics of Sakha (Yakutia), Buriatia, Karelia are in the greatest need of the timber concrete composite spans, because they have a lot of forest resources and old timber bridges that are still in service.

KEYWORDS: timber concrete composite bridge, crested shear connectors, cast reinforce concrete slab, plank-nailed block, load capacity.

Submitted 24.03.20, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Utkin V.A., Gotovtsev I.I. Crested shear connectors application to combine rein-forced concrete slab and plank-nailed structure of bridge span. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

© Utkin V.A., Gotovtsev I.I.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Впервые конструкция пролетного строения [1, 2, 3] с коробчатыми дощато-брусчатыми блоками¹ была применена в 2005 г. на мосту через р. Ушайра в Омской области. В качестве главных несущих элементов конструкции были приняты 4 коробчатых блока и проезжая часть из поперечной брусчатой деревоплиты и ездового полотна из железобетонных плит ПДМ. В настоящее время эта конструкция применена на ряде мостов [4], освоены технология изготовления, транспортировка и монтаж, подготовлены специалисты, способные выполнять необходимый комплекс работ. Изготовление конструкций не требует сложного вспомогательного оборудования, отличается простотой строительных процессов и возможностью использования местных рабочих кадров. Стоимость мостов с пролетными строениями из ДГБ в сравнении с равными пролетными строениями из железобетонных балок оказалась на 40–50% дешевле. Применение коробчатых блоков с изоляционным покрытием верхней поверхности мостопластом обеспечило 100-процентную защиту конструкции блоков от увлажнения при сохранении влажности древесины в пределах 12%. Эти условия гарантируют длительный (не менее 50 лет) срок службы несущих блоков. Вместе с тем брусчатая горизонтально уложенная на блоки и покрытая гидроизоляцией брусчатая деревоплита с подуклонкой и железобетонными плитами дорожного покрытия, водоотводными лотками,

деревянными тротуарами и колесоотбойными брусками не обеспечивает качественную водозащиту деревянных конструкций проезжей части. Особенно подвержены увлажнению, гниению и растрескиванию концевые участки брусков деревоплиты под тротуарами, колесоотбойные бруска и бруска деревоплиты в местах повреждения гидроизоляции под швами между плитами покрытия.

Наиболее совершенной конструкцией является пролетное строение [5] из дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой проезжей части² (рисунок 1).

Данное пролетное строение состоит из установленных на опоры по эпюре поперечного уклона коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков 1, объединенных железобетонной плитой 2, уложенной непосредственно на изолированную поверхность 3 и закрепленной болтами 4 к поясным брускам 5, при этом железобетонная плита составлена из двух зеркально-симметричных блоков 2а и 2б, объединенных между собой по оси моста продольным швом 6 из монолитного железобетона. Поверх гидроизоляционного покрытия 3 уложено асфальтобетонное покрытие 10.

Применяемая в качестве поперечной конструкции железобетонная плита, имея более высокую поперечную жесткость в сравнении с деревоплитой, позволяет снизить временную нагрузку на блоки и увеличить грузоподъемность как отдельного блока, так и всего пролетного строения в целом.

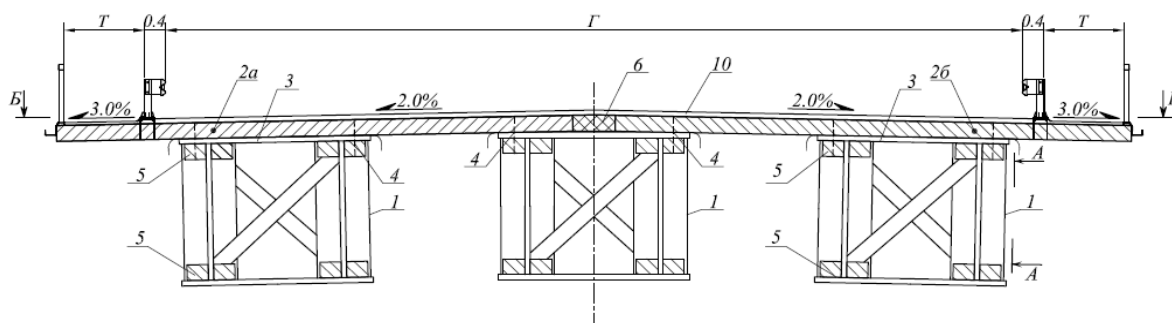


Рисунок 1 – Пролетное строение с железобетонной плитой проезжей части

Figure 1 – The span with reinforced concrete slab of a bridge road

¹ Патент РФ на изобретение RU 2169812, дощато-гвоздевое пролетное строение / Уткин В. А., Пузиков В. И.// М.: 27.06.2001.

² Патент РФ на изобретение RU 2574240, пролетное строение из коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой/ Уткин В. А., Кобзев П.Н., Пузиков В. И., Казанцев Б.В.// М.: 10.09.2014.

Исключение из поперечной конструкции пролетного строения брусчатой деревоплиты приводит к существенному снижению материалоемкости конструкции, уменьшению трудозатрат и стоимости строительства, а также полному устранению из конструкции материала и очагов, подверженных биологическому разрушению. Все это в целом отвечает современным требованиям, связанными с обеспечением жизнестойкости, надежности и срока службы не менее 50 лет для капитальных мостов. Недостаток этой конструкции состоит в неиспользовании железобетонной плиты проезжей части для совместной работы с несущими дощато-брусчатыми блоками и в излишней материалоемкости конструкции пролетного строения в целом.

Об эффективном использовании совместной работы железобетонной проезжей части и металлических балок свидетельствует многолетний опыт проектирования и строительства сталежелезобетонных мостов. Применение сталежелезобетонных пролетных строений было начато в конце 40-х и начале 50-х годов прошлого века и получило широкое распространение в большинстве стран мира [6, 7, 8, 9, 10]. Сталежелезобетонные элементы являются составными стержнями, в которых стальные и железобетонные части соединены объединительными швами для совместной работы. Средствами объединения, как правило, служат жесткие стальные выступы-упоры, укрепленные на стальном поясе стальной части посредством сварных (болтовых) соединений, и гибкие упоры в виде приваренных к стальному поясу вертикальных и наклонных анкеров, работающие на изгиб [10]. Основным средством объединения железобетона и стали в СССР стали жесткие упоры, омоноличиваемые со сборными железобетонными плитами в специальных окнах бетоном. Однако 50-летний опыт эксплуатации этих конструкций выявил существенные недостатки, основным из которых было расстройство узлов объединения [11]. В США, Англии, Германии и других странах нашли применение гибкие цилиндрические нагели с головками, привариваемые к верхнему поясу на монтаже специальным сварочным пистолетом. В результате многолетнего опыта наиболее надежным способом объединения железобетонной плиты и стальной конструкции признана зарубежная технология. В настоящее время эта технология признана также и в отечественном мостостроении.

Примерно в то же время появились деревобетонные мосты, вначале в виде бетонной

плиты-покрытия по накату из бревенчатых прогонов, затем по деревоплите и только потом в виде железобетонной плиты по клееным балкам с устройством швов объединения [12]. В США в те годы было построено более 100 деревобетонных мостов, в дальнейшем интерес к этим конструкциям постепенно угас до нуля и возобновился лишь к концу 90-х годов [12, 13, 14, 15, 16]. В СССР этот период характеризуется глубокими исследованиями в области совместной работы железобетонной плиты и клееных балок ученых СибАДИ [17, 18, 19] и Хабаровского политехнического института [20, 21, 22, 23, 24]. В это время были защищены кандидатские диссертации В. И. Кулишом и А. В. Шумахером. Однако широкого применения данные конструкции в мостостроении не получили и были вытеснены из производства массовым строительством более индустриальных и более дорогих балочных железобетонных мостов.

Как уже было отмечено, повышенный интерес к деревобетонным мостам (Timbre concrete composite bridge – ТСС) проявился в конце 1990-х и начале 2000-х годов. В работе [12] дан анализ 75 сооружений ТСС, построенных в этот период в мире. Отмечено, что страны Европы, особенно Финляндия, Швейцария, Англия, Франция, Германия, в которых эти мосты ранее игнорировались, стали наиболее заинтересованными в их применении по сравнению с металлическими и железобетонными конструкциями. К достоинствам мостов ТСС были отнесены: высокие защитные свойства монолитной железобетонной плиты проезжей части на несущие деревянные конструкции от влаги и солнечной радиации, возросшая долговечность и грузоподъемность, конкурентоспособность по стоимости и экологичности в сравнении с другими мостами. Учитывалось и то, что древесина является стабильным природным строительным материалом, возобновляемым природой, производство которого требует небольшого количества энергии. Усилия современных специалистов направлены теперь на разработку более эффективных конструкций и методов использования свойств и достоинств ТСС.

Настоящая работа посвящена конструкции объединения и совместной работе монолитной железобетонной плиты проезжей части деревобетонных пролетных строений мостов с несущими конструкциями из коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков [ДГБ].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Предлагается пролетное строение,³ составленное из установленных на опоры по эпюре поперечного уклона дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков, отличающееся от пролетного строения на рисунке 1 тем, что на всю ширину и длину пролетного строения уложена монолитная железобетонная плита 1 (рисунки 2,3). Для объединения плиты с дощато-брусчато-нагельно-гвоздевыми блоками 2 и включения в совместную работу с блоками поясные брусья 3 верхнего пояса блоков снабжены закрепленными к ним на болтах 4 и распределенными с определенным интервалом по длине пролета стальными парными накладками 5 с гребенчатыми выступами 6, с пазами 7 для арматурных стержней нижней сетки 8 железобетонной плиты 1 и отверстиями 9 для гибких упоров 10, а вместо двух слоев перекрестных досок верхнего пояса на рисунке 1, в промежутках между коробчатыми блоками и с наружной стороны крайних блоков устроено днище 11 несъемной опалубки монолитной железобетонной плиты 1 с последующим бетонированием ее, включением в совместную работу с деревянными блоками 2, устройством гидроизоляции и ездового полотна 12.

В настоящее время в строительстве сталежелезобетонных мостов нашел применение эффективный способ объединения монолитной железобетонной плиты с верхними поясами стальных балок посредством гребенчатых упоров⁴. Гребенчатые упоры являются анкерами в бетоне монолитной плиты проезжей части и воспринимают усилия сдвига и отрыва в объединенной конструкции. Передача усилий от несущей конструкции на бетон и обратно происходит через короткие арматурные стержни (гибкие упоры) и длинные стержни нижней сетки плиты, располагаемые в отверстиях и пазах гребней. Обратная задача, связанная с передачей усилий от железобетонной плиты на стальные балки решается посредством сварки гребенчатых полос и верхних поясов балок. Гребенчатые упоры нашли широкое применение при строительстве

сталежелезобетонных мостов, в частности на МКАД и третьем транспортном кольце г. Москвы [25].

К преимуществам данного способа объединения (в сравнении с гибкими штыревыми упорами) можно отнести снижение металлоёмкости соединений и передачу усилий без концентрации напряжений как в главных балках, так и в бетоне плиты. По результатам экспериментальных исследований, проведенных ОАО ЦНИИС, было выявлено, что разрушение узла объединения происходит по бетону без каких-либо повреждений сварных швов, металла стальной накладки или арматуры. На этом основании представленный способ объединения принят для предлагаемой конструкции деревобетонного пролетного строения моста.

При этом объединение монолитной железобетонной плиты с деревянными поясами дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков посредством гребенчатых упоров становится возможным только при совмещении гребенчатых выступов с двухсторонними стальными накладками, закрепляемыми к боковым граням брусчатых поясов горизонтальными сквозными болтами-нагельями (см. рисунок 3). В этом случае передача усилий от железобетонной плиты на брусчатые пояса может быть осуществлена с помощью известных нагельно-болтовых соединений.

Для принятого соединения расчет гибких стержневых упоров в составе железобетонной плиты может быть выполнен по приложению Я СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1):

из условия прочности бетона по формуле

$$S_n \leq d^2 \cdot \sqrt{10R_b}, \quad (1)$$

из условия среза стали арматуры по формуле

$$S_1 \leq 0,063 \cdot d^2 \cdot m \cdot R_y. \quad (2)$$

³ Заявка №2019117816/03(034062) от 07.06.2019.

⁴ Патент № 2110639 РФ. Стыковое соединение монолитной железобетонной плиты и стальной балки сталежелезобетонного пролетного строения моста / А. В. Кручинкин, В. П. Егоров, В. Г. Решетников. – № 97108669/03; заявл. 02.06.1997 г.; опубл. 10.05.1998 г. – Бюл. № 13.

⁵ ОДМ 218.4.003-2009 «Рекомендации по объединению металлических балок с монолитной железобетонной плитой посредством непрерывных гребенчатых упоров в сталежелезобетонных пролетных строениях мостов».

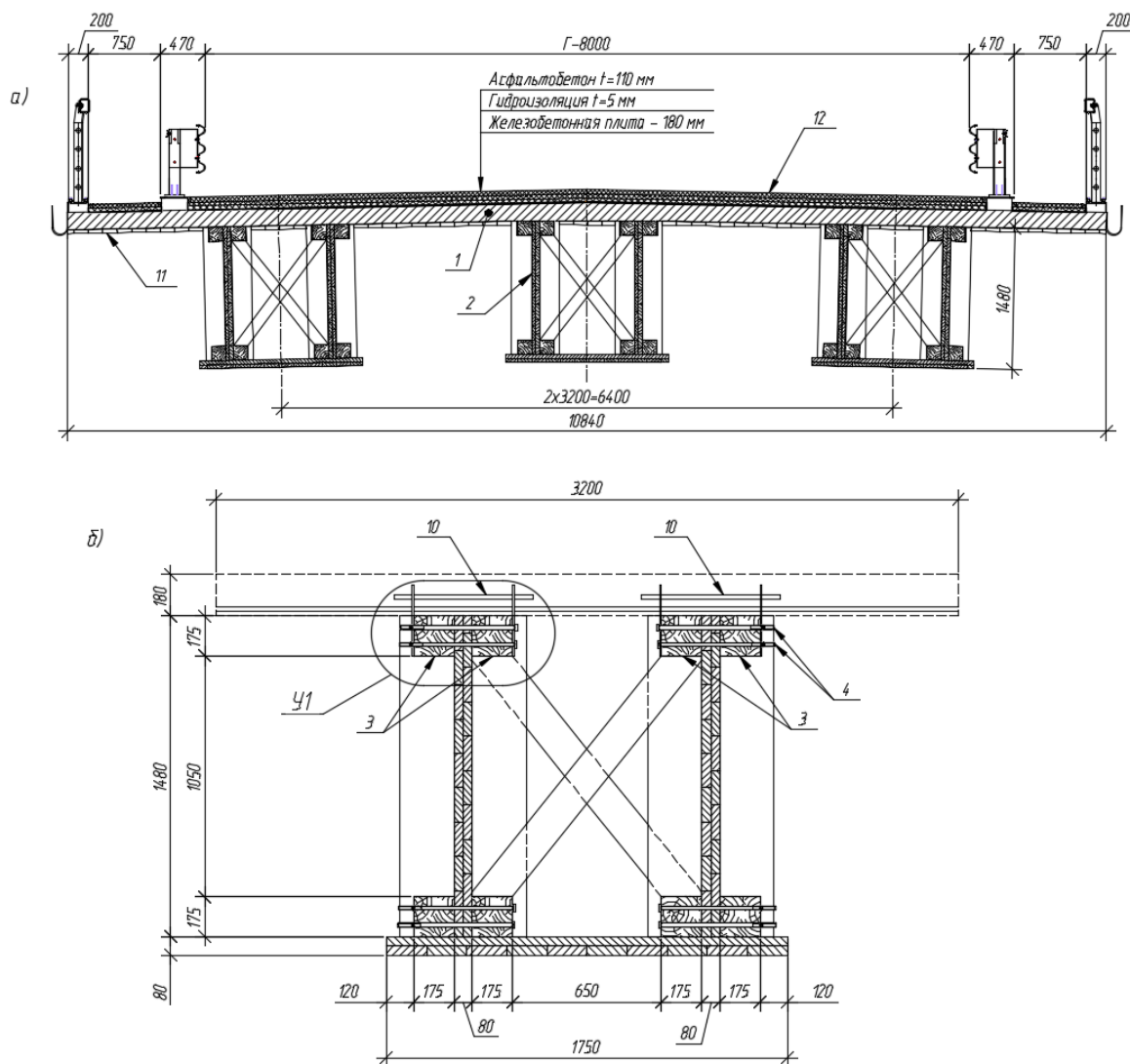


Рисунок 2 – Конструкция комбинированного пролетного строения из дощато-нагельно-гвоздевых блоков и монолитной плиты проезжей части:
а – поперечное сечение пролетного строения;
б – поперечное сечение блока

Figure 2 – The structure of composite plank-dowel-nailed blocks and cast-in-place reinforced concrete slab:
a – the section of the span;
b – the section of the block

Расчетное усилие среза, воспринимаемое бетонными шпонками в пазах гребня определяется по формуле

$$S_b = R_{b, cut} \cdot A_{cut} \cdot n_s \quad (3)$$

В вышеперечисленных формулах: d – диаметр стержня гибкого упора или анкера, см; R_b – расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие, МПа; m – коэффициент условий работы; R_y – расчетное сопротивление стали

арматуры растяжению, МПа; $R_{b, cut}$ – расчетное сопротивление бетона на непосредственный сдвиг, кН/м²; $A_{b, cut}$ – площадь, по которой происходит сдвиг (площадь паза (позиция 7, рисунок 3, в)), м²; n_s – число расчетных сдвигов бетона (для каждого паза = 2).

Однако в изданных рекомендациях указано, что влияние бетонных шпонок при работе на сдвиг составляет от 3 до 5% и этим составляющим можно пренебречь, допуская, что все сдвигающие усилия воспринимаются попереч-

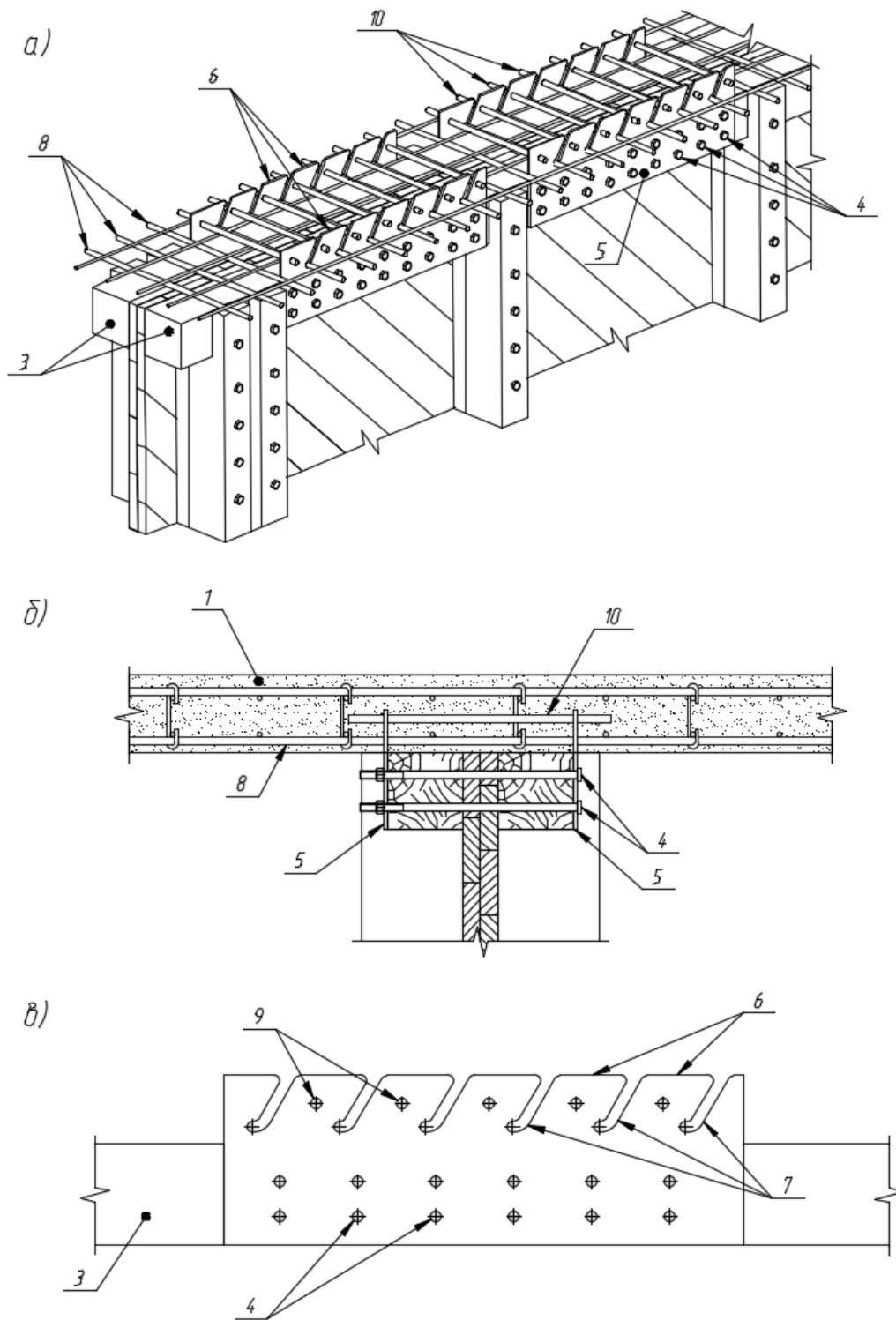


Рисунок 3 – Конструкция узла №1 объединения железобетонной плиты и ДГБ:
 а – изометрический вид (железобетонная плита не показана);
 б – конструкция объединения совместно с железобетонной плитой;
 в – конструкция стыковой гребенчатой накладки

Figure 3 – Unit 1 construction of a reinforced concrete slab and ДГБ:
 а – isometric view (a reinforced concrete slab is not shown);
 б – construction of the a reinforced concrete slab combination;
 в – butt crested strip construction

ной арматурой нижней сетки (позиция 8, рисунок 3) и гибких стержневых упоров (позиция 10, рисунок 3).

Расчет соединения железобетонной плиты с поясными брусками верхнего пояса блоков посредством стальных накладок и нагелей (болтов) может быть выполнен в соответствии СП 35.13330.2011, табл. 10.6. При этом несущая способность нагеля определяется, исходя из условий:

- смятие в средних элементах:

$$T = 0,441 \cdot d \cdot t_1, \quad (4)$$

- изгиб нагеля:

$$T = 1,618 \cdot d^2 + 0,019 \cdot t_1^2. \quad (5)$$

Предлагаемые комбинированные дерево-железобетонные элементы пролетных строений являются составными стержнями и могут быть исследованы методами теории проф. А. Р. Ржаницина⁶.

В основу предлагаемого метода исследования напряженно-деформированного состояния деревобетонного составного прогона с дискретным размещением в швах объединения сосредоточенных связей сдвига принят метод сил для стержневых систем, учитывающий взаимодействие продольных сил и изгибающих моментов от усилий в связях сдвига [26]. Принципиальная расчетная схема (основная система) составного прогона приведена на рисунке 4. Линия приложения парных неизвестных T_i совмещена с центром тяже-

сти верхнего пояса дощато-гвоздевого блока (ДГБ), ось стержня 1 совмещена с линией центров тяжести железобетонной плиты, ось стержня 2, соответственно, с линией центров тяжести дощато-гвоздевого блока.

В общем случае система канонических уравнений метода сил принимает следующий вид:

$$\delta_{11}T_1 + \delta_{12}T_2 + \dots + \delta_{1n}T_n + \Delta_{1F} + \Delta_{\Delta} = 0$$

$$\delta_{21}T_1 + \delta_{22}T_2 + \dots + \delta_{2n}T_n + \Delta_{2F} + \Delta_{\Delta} = 0 \quad (6)$$

.....

$$\delta_{n1}T_1 + \delta_{n2}T_2 + \dots + \delta_{nn}T_n + \Delta_{nF} + \Delta_{\Delta} = 0$$

В матричном виде:

$$A\bar{T} + \bar{\Delta}_F + \bar{\Delta}_{\Delta} = 0, \quad (7)$$

где A – матрица коэффициентов канонических уравнений; \bar{T} – вектор неизвестных усилий сдвига; $\bar{\Delta}_F$ – вектор грузовых перемещений; $\bar{\Delta}_{\Delta}$ – вектор одинаковых перемещений (учет податливости нагельных соединений, принимается равный 0,2 мм).

Коэффициенты при неизвестных и свободные члены уравнений (6,7) определяются по формулам Мора (8,9) с учетом деформаций растяжения-сжатия и изгиба, при этом поперечными деформациями пренебрегаем, работу железобетонной плиты на изгиб не учитываем.

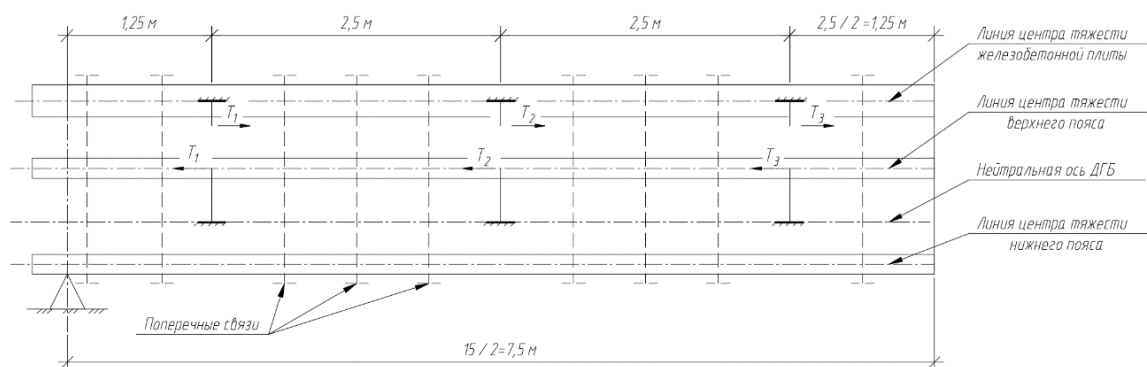


Рисунок 4 – Основная система композитного пролётного строения из дощато-нагельно-гвоздевых блоков и железобетонной плиты

Figure 4 – The basic system of the composite plank-dowel-nailed block and a reinforced concrete slab span

⁶ Ржаницын А.Р. Строительная механика. М.: Высшая школа, 1982. 400 с.

$$\delta_{ij} = \int \frac{\bar{N}_i \cdot \bar{N}_j}{EA} ds + k \cdot \int \frac{\bar{Q}_i \cdot \bar{Q}_j}{EG} ds + \int \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_j}{EJ} ds \quad (8)$$

$$\delta_{ij} = \int \frac{\bar{N}_i \cdot \bar{N}_j}{EA} ds + k \cdot \int \frac{\bar{Q}_i \cdot \bar{Q}_j}{EG} ds + \int \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_j}{EJ} ds \quad (9)$$

Определение единичных и грузовых перемещений может быть выполнено как по методу Верещагина, так и по методу Симпсона. Для этого необходимо построить комплект единичных \bar{M}_i , \bar{N}_i и грузовых \bar{M}_F эпюр для основной системы. Общий вид эпюр представлен на рисунке 5. Как видно из рисунка 5, единичные эпюры имеют простые треугольные и прямоугольные формы и вычисление единичных перемещений может быть легко автоматизировано в программных комплексах MS Excel.

В результате решения системы уравнений (6,7) и определения усилий в связях сдвига к изгибающему моменту в элементах основной системы от внешнего воздействия следует добавить сумму моментов от усилий сдвига, при определении продольных сил необходимо учесть только сумму продольных сил от усилий сдвига [26].

Проверка прочности поясов дощато-гвоздевого блока производится в соответствии с

указаниями СП 35.13330.2011:

- для элементов, работающих на растяжение (сжатие) с изгибом, по формулам:

$$\frac{N_d}{A_{nt}} + \frac{M_d}{W_{nt}} \cdot \frac{R_{dt}}{R_{db}} \leq R_{dt}, \quad (10)$$

$$\frac{N_d}{A_{nt}} + \frac{M_d}{\xi W_{nt}} \cdot \frac{R_{dt}}{R_{db}} \leq R_{ds},$$

в которых N_d и M_d – расчетные значения усилий;

A_{nt} – площадь ослабленного поперечного сечения;

W_{nt} – момент сопротивления ослабленного поперечного сечения;

– коэффициент, учитывающий влияние дополнительного момента от N_d .

Железобетонная плита рассчитывается на осевое сжатие по формуле

$$\frac{N_d}{A} \leq R_b, \quad (11)$$

где A – площадь железобетонной плиты;

R_b – расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие.

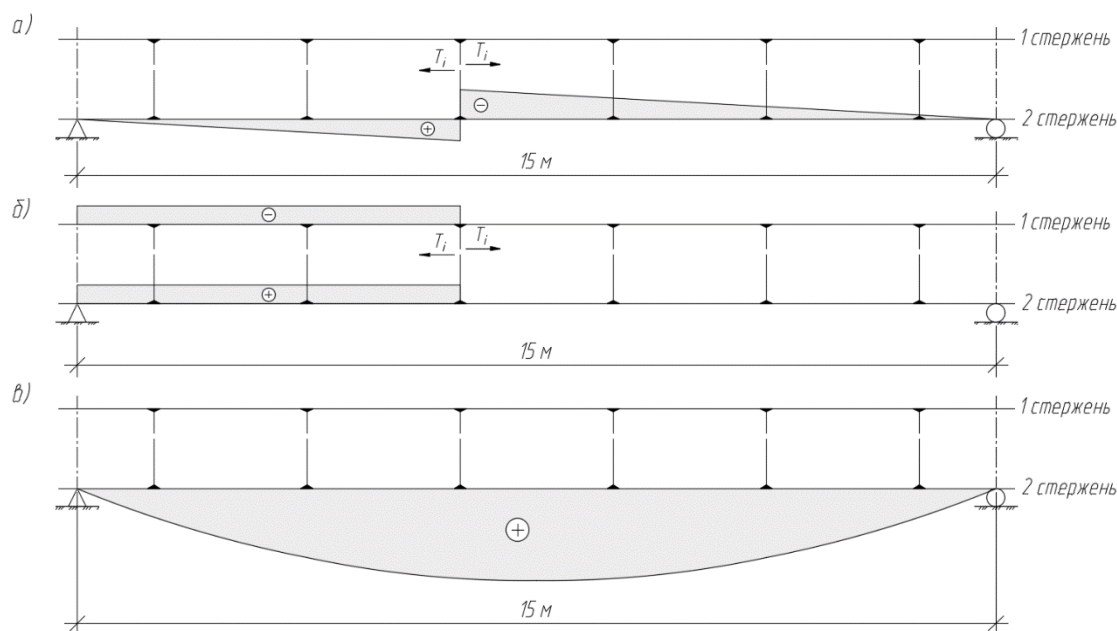


Рисунок 5 – Общий вид единичных и грузовой эпюр в основной системе:
а – единичная эпюра \bar{M}_i , б – единичная эпюра, \bar{N}_i в – грузовая эпюра \bar{M}_F

Figure 5 – General view of single and load diagrams in the basic system:
a) a single diagram \bar{M}_i б) a single diagram \bar{N}_i в) a load diagram \bar{M}_F

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера был выполнен расчет композитного пролетного строения расчетным пролетом 15 м, составленного из трех дощато-нагельных-гвоздевых блоков и объединенной с ними для совместной работы монолитной железобетонной плиты. В составе пролетного строения три блока высотой 1,48 м, плита толщиной 18 см и гребенчатые упоры на рисунке 3.

Расчет выполнен в две стадии: на первой стадии от воздействия собственного веса и бетонируемой железобетонной плиты; на второй стадии – от веса одежды мостового полотна, барьерных, а также перильных ограждений и подвижной временной нагрузки А14 и Н14.

При расчете по второй стадии получены следующие значения сдвигающих усилий:

$$T_1 = T_6 = 2056 \text{ кН}, T_2 = T_5 = 669 \text{ кН}, \\ T_3 = T_4 = -433 \text{ кН}.$$

Делением полученных значений на расстояние между силами сдвига получаем следующие сдвигающие усилия в пересчете на погонный метр:

$$T_1 = T_6 = 822 \text{ кН/м}, T_2 = T_5 = 268 \text{ кН/м}, \\ T_3 = T_4 = -173 \text{ кН/м}.$$

При следующих параметрах: диаметр гибких упоров – 18 мм, класс бетона – В30, арматура – А400, диаметр нагеля – 18 мм, расстояние $t_1 = 430$ мм. Минимальная несущая способность гибкого упора по условиям (1,2) определяется по следующим формулам:

Условие (1):

$$S_h = d^2 \cdot \sqrt{10R_b} = 1,8^2 \cdot \sqrt{10 \cdot 15,5} = 40,3 \text{ кН}.$$

Условие (2):

$$S_h = 0,063 \cdot d^2 \cdot R_y = 0,063 \cdot 1,8^2 \cdot 350 = 71,4 \text{ кН}.$$

Таким образом, определяющим является прочность бетона по условию (1), на 1-м участке необходимое число гибких упоров равняется

$$n_{T1} = \frac{T_1}{S_h} = \frac{822}{40,3} = 20,38 \text{ шт. / м}.$$

Также проверим формулу (3) для одного паза одной полосы

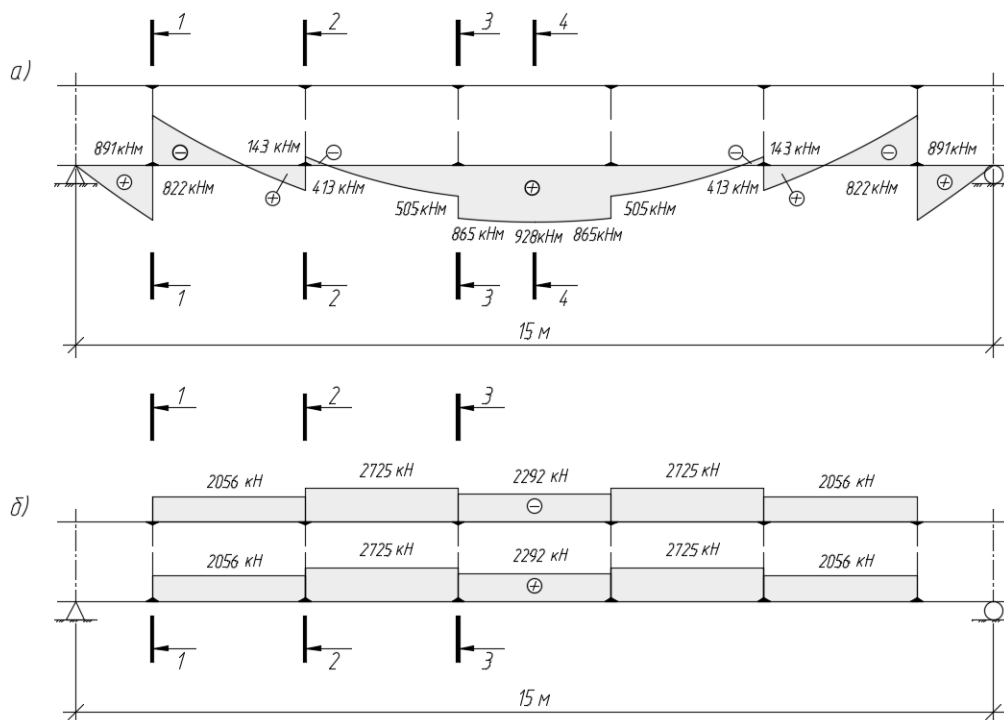


Рисунок 6 – Эпюры расчетных усилий в композитном сечении: а – изгибающих моментов в композитном сечении; б – продольных сил в композитном сечении

Figure 6 – Diagrams of the calculated forces in the composite section: а – bending moments а – bending moments б – longitudinal forces б – longitudinal forces

$$S_b = R_{b,cut} \cdot A_{cut} \cdot n_s = 1,55 \cdot 10^3 \cdot 0,0025 \cdot 2 = 7,75 \text{ кН.}$$

Как видно из сопоставления полученных величин, в случае деревобетонных пролетных строений влияние бетонных шпонок при работе на сдвиг составляет более 5% и данный фактор следует учитывать при дальнейшей работе.

Минимальная несущая способность нижней части соединения (нагеля) определяется по условиям (4,5) по следующим формулам:

Условие (4):

$$T = 0,441 \cdot d \cdot t_1 = 0,441 \cdot 1,8 \cdot 43 = 34,1 \text{ кН.}$$

Условие (5):

$$T = 1,618 \cdot d^2 + 0,019 \cdot t_1^2 = 1,618 \cdot 1,8^2 + 0,019 \cdot 43 = 40,4 \text{ кН.}$$

Определяющим является условие (4), число нагелей равняется

$$n_{H1} = \frac{T_1}{S_h} = \frac{822}{34,1} = 24,08 \text{ шт. / м.}$$

С учетом полученных значений были построены эпюры расчетных изгибающих моментов и продольных сил в деревянной конструкции и железобетонной плите (рисунок 6).

Скачкообразный характер эпюр связан с представлением расчетной схемы приложения сдвигов в виде сосредоточенных сил, совмещенных с серединой панели между конструктивно размещенными вертикальными ребрами жесткости ДГБ и с центрами закрепления к поясным брусьям гребенчатых упоров. Фактически же передача сдвигающих усилий от железобетонной плиты к блокам ДГБ и обратно осуществляется на всей длине

гребенчатых упоров сплавным переходом из одной зоны в другую.

Сложный характер распределения нормальных напряжений по высоте деревобетонных (композитных) сечений 1–4 на рисунке 6 представлен эпюрами на рисунке 7.

В приопорной зоне, обозначенной сечением 1–1, где происходит включение железобетонной плиты в совместную работу с ДГБ, справа от сечения отмечается проявление в плите сжимающих напряжений с всплеском растягивающих в поясных брусьях. Напряженное состояние сечения 2–2 подтверждает включение железобетонной плиты на сжатие с некоторым увеличением интенсивности и с равномерным распределением растягивающих напряжений по сечению деревянной конструкции. О классическом характере распределения напряжений между материалами композитной деревобетонной конструкции свидетельствуют эпюры нормальных напряжений в наиболее напряженных сечениях 3–3 и 4–4. При этом полученные максимальные растягивающие напряжения в деревянных элементах не превышают расчетных сопротивлений, в то время как напряжения сжатия в железобетонной плите в три раза меньше расчетных. Очевидно, что назначение в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 минимальной толщины железобетонной плиты в 18 см для деревобетонных пролетных строений сильно завышены и требуют корректировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние двадцать лет в мире отмечается повышенный интерес к деревобетонным мостам. Наиболее заинтересованными в их применении стали Финляндия, Швейцария, Англия, Франция, Германия, в которых эти мосты ранее игнорировались.

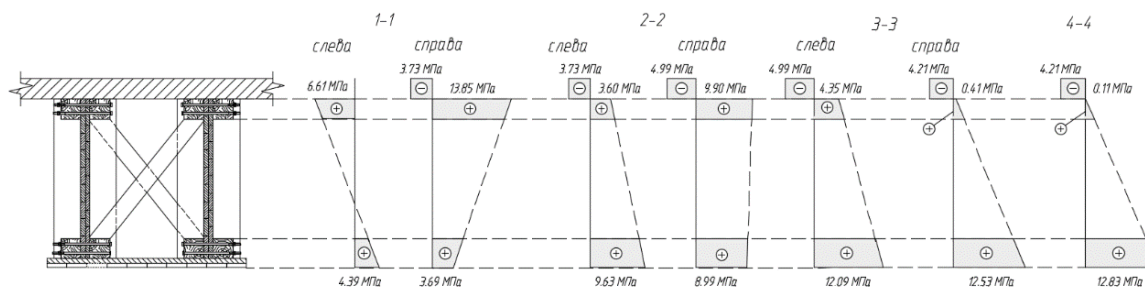


Рисунок 7 – Эпюры нормальных напряжений в композитном пролетном строении

Figure 7 – Graphic of normal stresses in a composite span

Основными достоинствами данных мостов являются высокие защитные свойства монолитной железобетонной плиты проезжей части на несущие деревянные конструкции от влаги и солнечной радиации, возросшая долговечность и грузоподъемность, конкурентоспособность по стоимости и экологичности в сравнении другими мостами.

В Омской области успешно внедрена и нашла применение на дорогах регионального значения новая конструкция пролетных строений из древесины под современные нагрузки на основе коробчатых дощато-гвоздевых блоков (ДГБ). Стоимость мостов с ДГБ в сравнении с равными пролетными строениями из железобетонных балок оказалась на 40–50% дешевле, возросла защищенность от атмосферных воздействий. Одним из недостатков этой конструкции является проезжая часть со сплошным накатом из брусьев и дорожным покрытием из дорожных железобетонных плит.

В работе рассмотрена конструкция композитного деревобетонного пролетного строения, составленного на основе дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с совместно работающей монолитной железобетонной плитой проезжей части. В качестве соединительных элементов для совместной работы предложены специальные гребенчатые упоры.

Для исследования совместной работы плиты и несущих ДГБ использована разработанная ранее методика расчета составных прогонов из бревен. Результаты теоретического исследования показали возможность применения предлагаемой конструкции в капитальных мостах при современных нагрузках. При этом конструкция отличается от применяемых ранее железобетонных мостов снижением материалоемкости, повышенной защищенностью от атмосферных воздействий и долговечностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уткин В.А. Испытание дощато-гвоздевой конструкции моста / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, Б.В.Казанцев, П.Н. Кобзев // Автомобильные дороги и мосты. 2002. №3. С.26–28.
2. Уткин В.А. Экспериментальное исследование модели дощато-гвоздевого коробчатого блока / В.А. Уткин, П.Н. Кобзев, В.И. Пузиков, Е.Л. Тараданов // Строительные материалы. 2005. №10. С.36–37.
3. Уткин В.А. Опыт внедрения новой конструкции дощато-гвоздевого пролетного строения в дорожном строительстве Омской области / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, П.Н. Кобзев // Дороги и мосты. 2008. Вып. 19/1. С. 16–171.
4. Уткин В.А. О применении древесины для строительства мостов / В. А. Уткин, В.И. Пузиков, Б. В. Казанцев, М.Ю. Каретников // Дороги и мосты. 2014. Вып.32/2. С. 127–142.
5. Уткин В.А. Совершенствование дощато-гвоздевых пролетных строений мостов / В.А. Уткин, П.Н. Кобзев // Вестник СибАДИ. 2017. – Вып. 53(1). С. 115–121.
6. Гибшман Е.Е. Мосты со стальными балками, объединенными с железобетонной плитой. Москва, Дориздат, 1952.
7. Гибшман Е.Е. Проектирование стальных конструкций, объединенных с железобетоном, в автоторожных мостах. Москва, Автотрансиздат, 1956.
8. Homberg H. Brucke mit elastischem Verbund zwischen den Stahlhaupttrager und der Betonfahrbahntafeln. Der Bauingenier, 1952, No. 6.
9. Kloppel K. Weichermuller H. Versuche mit Verbundtrager. Der Stahl bau, 1954, H. 6.
10. Стрелецкий Н. Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов : монография. Москва, Транспорт, 1981. 355 с.
11. Бычковский Н.Н. Проблемы проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции транспортных сооружений и пути их решения: монография в 3 ч. Ч. 2. Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2008. 820 с.
12. J. N. Rodrigues, A.M.P.G. Dias, P. Providencia. Timber-concrete composite bridges: State-of-the-Art-Review. «Review of TCC bridges», Bioresources. 2013. №8(4). Pp. 6630-6649.
13. Wiio M., Jutila A., Makipuro R., Salokangas L., Wistbara J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concret composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994, no.7, p. 14.
14. Linden, M.L.R. Timber-concrete composite beams. HERON, 1999. p.44.
15. J. N. Rodrigues, A.M.P.G. Dias, P. Providencia. Timber-concrete composite bridges- sustainability assessment, University of Coimbra, COST Action FP 1004 – Timber Bridges Conference 2014, p. 14.
16. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты: состояние, теория, исследования, проектирование: монография / М-во образования и науки Российской Федерации «Северный (Арктический) федеральный ун-т им. М.В. Ломоносова», 2014. 315 с.
17. Шумахер А.В. Экспериментальное исследование жесткости нагельных связей объединенных деревобетонных балок под действием многократно-повторной нагрузки // Сборник научных трудов. Омск, Западно-сибирское издательство. 1970. № 2. С.30–43.
18. Мельников Ю.О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок. Сборник научных трудов №3. Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений. Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений. Омск, 1970. С. 49–59.

19. Ковтонюк В. А. Конструкция и выбор связей сдвига в объединенных деревобетонных и мостовых балках / В.А. Ковтонюк, Ю. О. Мельников // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений. Сборник научных трудов №5. Омск. 1972. С. 79–89.

20. Кулиш В.И. Исследование работы и расчет на прочность деревожелезобетонных балок // Строительство железных дорог и эксплуатация пути. Хабаровск, ХаБИИЖТ, 1967. С. 120–127.

21. Рожко П.П., Кулиш В.И. Исследование несущей способности стальных нагелей в деревобетонных мостах // Труды ХаБПИ. 1966. Вып. 3. С. 21–26.

22. Белуцкий И.Ю. Экспериментальное исследование гибридных клееных балок / И.Ю. Белуцкий, Ю.С. Глибовицкий, В.И. Кулиш // Сб. тр. ХаБПИ Общетеchnические науки, Хабаровск, 1972.

23. Белуцкий И.Ю. Об эффективности клееных армированных конструкций. Известия ВУЗов, раздел «Строительство и архитектура», 1972, №2.

24. Кулиш В.М. Клееные деревянные мосты с железобетонно плитой. Москва: Транспорт, 1979.

25. Кручинкин А.В., Платонов А.С., Решетников В.Г., Решетников И.В., Корнев С.Н., Кручинкин А.А. Сталежелезобетонные мосты: проблемы и перспективы развития // Вестник мостостроения №1, 2010.

26. Уткин В.А. Учет взаимодействия продольных сил и изгибающих моментов в расчетах составных прогонов бревен. / В.А. Уткин, П.Н.Кобзев, Е.Г. Шатунова // Вестник СибАДИ. Омск, том 18, №1, 2020.

REFERENCES

1. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kazancev B.V., Kobzev P.N. Ispytanie doshato-gvozdevoj konstrukcii mosta [Testing the plank-nailed bridge structure]. Омск, 2002. pp.26-28. (in Russian)

2. Utkin V.A., Kobzev P.N., Puzikov V.I., Taradantov E.L. Eksperimentalnoe issledovanie modeli doshato-gvozdevoogo korobcha-togo bloka [Experimental study of a plank-nailed box model]. *Stroitelnye materialy*. 2005. pp.36-37. (in Russian)

3. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kobzev P.N. Opyt vnedreniya novoj konstrukcii doshato-gvozdevoogo proleznogo stroeniya v dorozhnom stroitelstve Omskoj oblasti [Experience in introducing a new design of a plank-nailed span in the road construction of the Omsk region]. *Dorogi i mosty*. Moscow, 2008; 19/1 : pp. 162-171. (in Russian)

4. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kazancev B.V., Karetnikov M.Yu. O primeneniі drevesiny dlya stroitelstva mostov [About the use of wood for bridges construction]. *Dorogi i mosty*. Moscow, Rosdormii, 2014; 32/2 : pp. 127-142. (in Russian)

5. Utkin V.A., Kobzev P.N. Sovershenstvovanie doshato-gvozdevykh proleznых stroenij mostov [Improving the plank-nailed bridges spans]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 53(1) : pp. 115-121. (in Russian)

6. Gibshman E.E. Mosty so stalnymi balkami, obedinennymi s zhelezobetonnoj plitoy [Bridges with steel beams combined with a reinforced concrete slab]. Moscow, Dorizdat, 1952.

7. Gibshman E.E. Proektirovanie stalnykh konstrukcij, obedinennykh s zhelezobetonom, v avtodorozhnykh mostah [Design of steel structures combined with reinforced concrete in road bridges]. Moscow, Avtotransizdat, 1956. (in Russian)

8. Homberg H. Brucke mit elastischem Verbund zwischen den Stahlhaupttrager und der Betonfahrbahntafeln. *Der Bauingenier*, 1952; 6.

9. Kloppel K. Weichermuller H. Versuche mit Verbundtrager. *Der Stahlbau*, 1954; 6.

10. Streleckij N. N. *Stalezhelezobetonnye proleznые stroeniya mostov* [Steel-reinforced concrete bridge spans]. Moscow, Transport, 1981. 355. (in Russian)

11. Bychkovskij N.N. *Problemy proektirovaniya, stroitelstva, ekspluatatsii, rekon-strukcii transportnyh sooruzhenij i puti ih resheniya* [Problems of design, construction, operation, reconstruction of transport facilities and ways to solve them]. Saratov, Saratovskij gos. tehn. un-t. 2008; 3 (20): 820. (in Russian)

12. Rodrigues J. N., Dias A.M.P.G., Providencia P., (2013). Timber-concrete composite bridges: State-of-the-Art-Review. «Review of TC bridges», *Bioresources* 8(4),6630-6649.

13. Wiio M., Jutila A., Makipuro R., Salokangas L., Wistbara J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concret composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994; 7, p. 14.

14. Linden, M.L.R. Timber-concrete composite beams. *HERON*, 1999, p.44.

15. J. N. Rodrigues, A.M.P.G. Dias, P. Providencia. Timber-concrete composite bridges- sustainability assessment, University of Coimbra, COST Action FP 1004 – Timber Bridges Conference 2014, p. 14.

16. Stukov V.P. *Derevozhelezobetonnye balochnye mosty: sostoyanie, teoriya, issledovaniya, proektirovanie* [Wood-reinforced concrete girder bridges: state, theory, research, design]. M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federatsii «Severnyj (Arkticheskij) federalnyj un-t im. M.V. Lomonosova, 2014. p. 315. (in Russian)

17. Shumacher A.V. Eksperimentalnoe issledovanie zhestkosti nagelnykh svyazey ob-edinennykh derevobetonnykh balok pod dejstviem mnogokratno-povtornoj nagruzki. [An experimental study of the stiffness of the nail bonds of the united wood-concrete beams under the action of multiple-repeated loading]. *Sbornik nauchnykh trudov*. Омск, Zapadno-sibirskoe izdatel-stvo. 1970; 2 : pp.30-43. (in Russian)

18. Melnikov Yu.O. Vliyanie podatlivosti svyazey na prochnost i zhestkost derevobetonnykh mostovykh balok [The effect of ductility of bonds on the strength and stiffness of wood-concrete bridge beams]. *Sbornik nauchnykh trudov №3*. Омск, 1970. pp. 49-59. (in Russian)

19. Kovtonyuk V.A., Melnikov Yu.O. Konstrukciya i vybor svyazey sдвига v obedinennykh derevobetonnykh i mostovykh balkah [Design and selection of shear bonds in combined wood and bridge beams]. *Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya mostov i sooruzhenij*. Омск, 1972. pp. 79-89. (in Russian)

20. Kulish V.I. Issledovanie raboty i raschet na prochnost derevozhelezobetonnyh balok [Study of work and strength analysis of wood-reinforced concrete beams]. *Stroitelstvo zheleznyh dorog i ekspluatatsiya puti*. Habarovsk, Ha-bllZhT, 1967, pp. 120–127. (in Russian)

21. Rozhko P.P., Kulish V.I. Issledovanie nesushej sposobnosti stalnyh nagelej v derevobetonnyh mostah [The study of the bearing capacity of steel dowels in concrete bridges]. *Trudy HabPI*. 1966; 3 : pp. 21–26. (in Russian)

22. Beluckij I.Yu., Glibovickij Yu.S., Kulish V.I. Eksperimentalnoe issledovanie gibridnyh kleenyyh balok [Experimental study of hybrid glued beams]. *Sb. tr. HabPI Obshetehnicheskie nauki*. Habarovsk, 1972. (in Russian)

23. Beluckij I.Yu. Ob effektivnosti kleenyyh armirovannyh konstrukcij [On the effectiveness of glued reinforced structures]. *Izvestiya VUZov*. 1972; 2. (in Russian)

24. Kulish V.M. Kleenye derevyannye mosty s zhelezobetonno plitoy [Glued wooden bridges with reinforced concrete slab]. Moscow, Transport, 1979. (in Russian)

25. Kruchinkin A.V., Platonov A.S., Reshetnikov V.G., Reshetnikov I.V., Kornev S.N., Kruchinkin A.A. Stalezhelezobetonnye mosty: problemy i perspektivy razvitiya [Steel-reinforced concrete bridges: problems and development prospects] *Vestnik mostostroeniya*. 2010; 1. (in Russian)

26. Utkin V.A., Kobzev P.N., Shatunova E.G. Uchet vzaimodejstviya prodolnyh sil i izgibayushih momentov v raschetah sostavnyh progonov breven [Accounting for the interaction of longitudinal forces and bending moments in the calculations of composite log run]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 18. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Уткин В.А. Формулирование цели, метод исследования, алгоритм расчета.

Готовцев И.И. Расчет комбинированного пролетного строения. Оформление статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Vladimir A. Utkin. Purpose formulation, research method, calculation algorithm

Ivan I. Gotovtsev. Composite span calculation, article layout.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Уткин Владимир Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0002-2044-3242 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Готовцев Иван Иванович – магистрант, ИМА, СМ-18МА8 ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0001-6402-3664 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: mohutop_kjiabuatypobu4@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Utkin – Dr. of Sci., Professor of the Bridges and Tunnels Department, FSBEI HE Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID ID 0000-0002-2044-3242 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Ivan I. Gotovtsev – Master Candidate, Graduate Institution, group SM-18MA8, FSBEI HE Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID ID 0000-0001-6402-3664 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: mohutop_kjiabuatypobu4@mail.ru).