

Научная статья

УДК 624.21.011

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-126-152

Особенности проектирования деревянных мостов автомобильных лесовозных дорог

В.А. Уткин, *д-р техн. наук, доц.*; *ResearcherID*: [AAC-8400-2022](https://orcid.org/0000-0002-2044-3242),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2044-3242>

С.А. Матвеев[✉], *д-р техн. наук, проф.*; *ResearcherID*: [Y-3137-2018](https://orcid.org/0000-0001-7362-0399),

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7362-0399>

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, просп. Мира, д. 5,
г. Омск, Россия, 644080; prof.utkin@mail.ru, dfsibadi@mail.ru[✉]

Поступила в редакцию 14.01.22 / Одобрена после рецензирования 10.04.22 / Принята к печати 13.04.22

Аннотация. Обеспечение народного хозяйства лесосырьевыми ресурсами непосредственно связано с транспортной доступностью, с состоянием и развитием дорожной сети богатых лесом территорий. При этом потребность в строительстве новых лесных дорог круглогодичного действия составляет 2,1 тыс. км и сезонного действия – 9,3 тыс. км в год. Положение осложняется переводом транспортных сооружений на новые, более тяжелые временные нагрузки. Ранее используемые конструктивные формы транспортных сооружений устарели и требуют новых технических решений. Особенно это касается конструкций деревянных мостов, имеющих первостепенное значение для строителей лесных дорог. Предмет исследования – балочные пролетные строения деревянных мостов пролетами 12–18 м, подвергающиеся повышенным по сравнению с прежними автомобильным нагрузкам. Цель – разработка современных конструкций балочных пролетных строений из древесины на основе составных прогонов из бревен, дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков и клееных блоков заводского изготовления. Рассмотрены: пролетные строения с объединенными гребенчатыми нагельными соединениями составными прогонами из бревен, методика расчета пролетных строений с составными прогонами, конструкция опытного пролетного строения длиной 15 м, содержащего составные бревенчатые прогоны в совместной работе с железобетонной плитой проезжей части; новые конструкции пролетных строений длиной 15–21 м с дощато-брусчато-нагельно-гвоздевыми блоками под временные нагрузки А11 и НК-80, методика проектирования и технология изготовления блоков, примеры запроектированных и построенных мостов с пролетными строениями длиной 15 м; конструкции многоребристых пролетных строений из объединяемых при монтаже транспортабельных цельноклееных секций заводского изготовления, содержащих клееные балки и многослойную клееную древесную плиту. Предлагаемые конструкции с составными прогонами из бревен (брусев) и дощато-гвоздевыми блоками возможно изготовить на участках и полигонах лесозаготовительных организаций с использованием повсеместно применяемого оборудования, местных квалифицированных кадров и материала. Стоимостные показатели построенных в Омской области капитальных мостов на базе этих конструкций в 1,5–2 раза ниже показателей аналогов из железобетона. Применение данных конструкций будет эффективно при пионерном способе освоения лесных массивов. Использование клееных пролетных строений связано с современным этапом развития лесной инфраструктуры.

Ключевые слова: лесовозные лесные дороги, постоянные деревянные мосты, временные автомобильные нагрузки, составные прогоны из бревен, дощато-гвоздевые блоки, конструкция гребенчато-нагельного соединения, брусчатая деревоплита, клееная древесина, плитно-ребристые мосты, деревоплита из перекрестных досок

Для цитирования: Уткин В.А., Матвеев С.А. Особенности проектирования деревянных мостов автомобильных лесовозных дорог // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 126–152. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-126-152>

Original article

Features of Designing Wooden Bridges of the Forest Complex

Vladimir A. Utkin, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAC-8400-2022](https://orcid.org/0000-0002-2044-3242), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2044-3242>

Sergey A. Matveev[✉], Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Y-3137-2018](https://orcid.org/0000-0001-7362-0399),

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7362-0399>

Siberian State Automobile and Highway University, prosp. Mira, 5, Omsk, 644080, Russian Federation; prof.utkin@mail.ru, dfsibadi@mail.ru[✉]

Received on January 14, 2021 / Approved after reviewing on April 10, 2022 / Accepted on April 13, 2022

Abstract. The supply of the national economy with forest resources is directly related to transport accessibility, the condition and development of the road network of forest-rich territories. Construction requirements for year-round and seasonal new forest roads are 2.1 and 9.3 ths km per year, respectively. The situation is complicated by the transfer of transport facilities to new heavier live loads. The previously used design shapes of transport structures are outdated and require new engineering solutions. This is especially relevant for wooden bridge structures, which are of primary importance to forest road builders. The research subject is the wooden bridge girder superstructures with spans of 12–18 m undergoing increased road loads compared to the previous ones. The research aims is the development of modern designs of wooden beam superstructures based on the composite girders made of logs, board-bar-dowel-nail blocks and factory-made laminated blocks. The research includes: superstructures with composite girders of logs combined by comb-dowel joints, a method for calculating superstructures with composite girders, design of a 15-meter experimental superstructure containing composite log girders in joint operation with roadway reinforced concrete slab; new designs of 15–21-meter superstructures with board-bar-dowel-nail blocks A11 and NK-80 for live loads, design procedure and technology of block manufacturing, examples of designed and built bridges with the 15-meter superstructures; designs of multi-ribbed superstructures made of prefabricated transportable one-piece laminated sections containing laminated beams and a multilayer laminated timber slab. The proposed designs with composite girders of logs (beams) and board-nail blocks can be manufactured on the sites and yards of logging organizations using commonly used equipment, local qualified staff and materials. The cost parameters of permanent bridges built in the Omsk region with the use of these designs are 1.5–2 times lower than those of reinforced concrete analogues. The use of these designs will be effective in the pilot method of forestry development. The use of laminated superstructures is related to the modern phase of forest infrastructure development.



Keywords: logging forest roads, permanent wooden bridges, temporary vehicle loads, composite girders of logs, board-nail blocks, comb-dowel joint design, timber bar slab, laminated wood, slab-ribbed bridges, timber slab from cross planks

For citation: Utkin V.A., Matveev S.A. Features of Designing Wooden Bridges of the Forest Complex. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 1, pp. 126–152. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-126-152>

Введение

Вклад лесного комплекса в экономику России существенно ниже аналогичного показателя других стран, схожих с нашей по объемам запасов и заготовки древесины. В этой связи Правительством разработана и одобрена Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г., в результате реализации которой к указанному году ожидаются увеличение вклада лесного комплекса в валовый внутренний продукт, рост численности персонала, занятого в лесном комплексе, и налоговых поступлений.

Самым большим источником доходов для бюджета пока остается использование лесов для заготовки древесины. При этом увеличение освоения лесов ограничено транспортной доступностью лесных ресурсов и их удаленностью от железнодорожных и других транспортных путей. Для обеспечения уже достигнутого объема заготовки древесины годовая потребность в новом строительстве лесных дорог составит свыше 2,1 тыс. км автомобильных дорог постоянного круглогодичного действия и свыше 9,3 тыс. км автомобильных дорог сезонного действия.

Проектирование и строительство лесных дорог в настоящее время регламентируются сводом правил СП 288.1325800.2016, согласно которому лесные дороги по назначению подразделяются на лесовозные и лесохозяйственные. Лесовозные лесные дороги предназначены для вывозки древесины с мест заготовки, перемещения лесозаготовительной техники, технических грузов и доставки персонала к местам работы и обратно, а также для лесохозяйственных целей (охраны, защиты и воспроизводства лесов). По срокам действия различают постоянные и временные лесовозные лесные дороги. Первые входят в число объектов капитального строительства и подразделяются на грузосборочные (лесовозные магистрали), лесовозные ветки – ответвления от лесовозной магистрали, и лесовозные усы – ответвления от лесовозных веток. Вторые не являются объектами капитального строительства, создаются без разработки проекта и бывают летнего и зимнего действия (зимники). Лесохозяйственные лесные дороги предназначены для доставки людей, лесохозяйственной и специальной техники, грузов к местам производства работ, месту лесного пожара и для патрулирования лесных массивов. Такие дороги строят в защитных и резервных лесах и не используют для вывозки древесины.

На лесных дорогах, предназначенных для вывозки заготовленной древесины, основным транспортным средством являются лесовозные автопоезда, обеспечивающие до 80 % интенсивности движения. Приведенные в СП 288.1325800.2016 характеристики транспортных средств для вывозки лесных и технических грузов показывают, что масса отдельных специализированных автопоездов, применяемых на лесных дорогах, достигает 8–110 т при осевой нагрузке 15–19 т, что сопоставимо с временной автомобильной

нагрузкой АК и НК класса 14 для капитальных автодорожных мостов по СП 35.13330.2011 и превышает нормативную временную нагрузку класса 11 для деревянных мостов. Независимо от предназначения определенных категорий лесных дорог для перевозки грузов указанными транспортными средствами, в СП 288.1325800.2016 обозначено, что водопропускные искусственные сооружения на лесных автомобильных дорогах следует проектировать в соответствии с СП 35.13330.2011, а в случае необходимости пропуска нагрузки, превышающей указанные А11 и Н11, – выполнить расчет конструкций с учетом данной конкретной нагрузки–либо предусмотреть мероприятия по снижению воздействия этой нагрузки на сооружение до нормативного уровня. Правилами предусматривается проектирование и строительство капитальных железобетонных мостов на капитальных лесных дорогах под нагрузки А14 и Н14, а капитальных деревянных мостов – под нагрузки и А11 и Н11.

В современной практике проектирование и строительство автодорожных деревянных мостов в стране не распространено. Предпочтение отдается более дорогим капитальным (стальным, сталежелезобетонным, железобетонным) сооружениям. Вместе с тем невозможно представить современную лесовозную дорогу с ответвлениями и усами на лесном участке, где проезд тяжелого автопоезда не допускается из-за недостаточной грузоподъемности построенных на ней деревянных мостов. Малая грузоподъемность мостов становится очень серьезным ограничением в организации заготовительных работ. Очевидно, требования ко всем мостовым сооружениям на лесовозных дорогах по нагрузкам должны быть одинаковыми без исключений.

История отечественного мостостроения свидетельствует о выдающихся примерах возведения деревянных сооружений. В дореволюционной России многие несущие деревянные конструкции, включая мосты, строились преимущественно из бревен и брусьев в виде балочных, подкосных и шпренгельных систем, а также в виде арок из брусьев и досок. Большим вкладом в развитие деревянных конструкций был, например, проект И.П. Кулибина – мост через Неву и его модель в 1/10 натуральной величины, выполненные в 1776 г.

В 50–60 гг. XIX столетия в США, Западной Европе и России было построено большое число мостов с многорешетчатыми дощатыми фермами Тауна, применявшимися в железнодорожных мостах до Первой мировой войны. Дощато-нагельные фермы системы российского инженера К.Е. Лембке получили распространение во время Первой мировой войны и широко использовались при восстановлении, реконструкции железных и автомобильных дорог после Гражданской войны 1918–1922 гг.

Начиная с 1935 г. пролетные строения с фермами Лембке стали применять уже с гвоздевыми соединениями. В 1933 г., например, был построен Даниловский мост через р. Москву под трамвайную и автомобильную нагрузки с одноконсольными фермами Лембке пролетом 49,4 м, консолями по 14,3 м и подвесным пролетом 20,8 м.

Накопленный опыт строительства деревянных мостов позволил выполнить и решить все задачи строительства военных дорог, мостов и переправ в годы Великой Отечественной войны и в период восстановления народного хозяйства СССР. В результате в 1960 г. на автодорогах Советского Союза из общего количества мостов 92 % были деревянными, построенными по нормам военного времени.

В дальнейшем основой государственной технической политики в области строительства, в том числе транспортного, стало повсеместное внедрение сборного железобетона. Был отдан бескомпромиссный приоритет сборному железобетону в ущерб всем другим материалам, конструкциям и технологиям. Деревянные мосты на автомобильных дорогах федерального значения заменены железобетонными или стальными. Доля деревянных мостов постоянно снижается до настоящего времени.

Сегодня накопленный опыт проектирования и строительства деревянных, комбинированных (с использованием деревянных конструкций) мостов оказывается практически неиспользуемым и утрачивается, хотя последние разработки Союздорпроекта на основе дощато-гвоздевых ферм позволяли перекрывать пролеты 9, 12 и 18 м при новых, повышенных, нагрузках. В проекте Ленинградского филиала Гипродорнии в те же годы были разработаны конструкции балочных пролетных строений из клееной древесины для широкого диапазона временных нагрузок, длин пролетов и габаритов. Проект обладал высокой степенью унификации, когда пролетные строения разных габаритов для разных нагрузок отличались между собой только количеством балок в поперечнике и расстояниями между ними. В частности, клееные балки прямоугольного поперечного сечения 4 типоразмеров, разные по высоте, обеспечивали решение 42 вариантов пролетных строений длиной от 6 до 18 м, с габаритами от Г-7 до Г-10 под все виды временных нагрузок. Однако указанные серии проектов не получили дальнейшего развития. Со временем разработанные типовые проекты деревянных мостов устарели и стали непригодными для современных условий и требований. В настоящее время складывается такая ситуация, что деревянное мостостроение будто не существует, а новые своды правил допускают применение деревянных мостов только на автомобильных дорогах ниже III категории.

Проблемы развития лесного комплекса требуют расширения объема лесозаготовок, а вместе с ним строительства лесных дорог и лесной инфраструктуры современного уровня, в том числе на основе более широкого использования древесины в дорожном строительстве и мостостроении.

Возросшим требованиям пропуска нагрузок по деревянным мостам должны соответствовать новые конструктивно-технологические формы пролетных строений и опор, отвечающие одновременно требованиям по долговечности конструкции не менее 25 лет и индустриальности производства.

Выполненные на кафедре мостов Сибирского автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) научно-исследовательские и проектные разработки, опыт проектирования и строительства мостов в Омской области свидетельствуют о том, что использование таких конструктивно-технологических форм на практике возможно.

Объекты и методы исследования

Пролетные строения с составными прогонами из бревен. Известно, что возможности применения разбросных и сосредоточенных прогонов связаны с длиной и диаметром стандартных бревен-заготовок. Как правило, длина типовых пролетов не превышает стандартные 7 м. Возможности применения составных бревенчатых прогонов связаны, кроме того, со способами объединения стандартных бревен по длине и высоте. В качестве соединительных элемен-

тов обычно использовали деревянные колодки из древесины твердых пород и стальные пластинчатые нагели. Устройство таких соединений требовало высокой точности исполнения и квалификации исполнителей. В результате применение составных (2–3-ярусных) прогонов [2] на пластинчатых нагелях и колодках позволило перекрывать пролеты длиной не более 8,5 м. Исключением стало опытное пролетное строение пролетом 9 м Киевского филиала Союздорпроекта 1967 г. из круглого леса с заготовкой по специальному заказу. Стыкование стандартных бревен по длине не нашло применения, а для пролетных строений длиной более 10 м стали рекомендовать дощато-гвоздевые конструкции.

Вместе с тем теоретические исследования А.Р. Ржаницына [17] указывали на возможность дальнейшего использования составных прогонов в балочных мостах. Проблема состояла в способах объединения бревен (брусьев) между собой. Из известных соединений нашли применение поперечные стыки бревен с 2–3-сторонними накладками из окантованных бревен (брусьев) на болтах, замененными впоследствии стальными накладками. Этот тип стыков использован авторами в составных прогонах для стыкования бревен по длине. Для объединения окантованных на 2 канта бревен (брусьев) по высоте впервые применены гребенчатые стальные шпонки [1], содержащие стальные накладки и жестко закрепленные в них сваркой цилиндрические, вклеиваемые в тело бревен глухие нагели (рис. 1). Соединение сопрягаемых составных бревен-заготовок, оборудованных гребенчатыми шпонками, производится посредством наложения сопрягаемых поверхностей бревен друг на друга, совмещения стальных накладок, установки стяжных болтов и сварки кромок накладок фланговыми швами.

Работа гребенчатых соединений в составном прогоне из бревен рассмотрена в соответствии с результатами отечественных исследований [3, 6, 7, 20–23] работы цилиндрических нагелей в швах объединения железобетонной плиты и клееных балок деревожелезобетонных пролетных строений и результатами испытаний подобных нагельных соединений, выполненных финскими исследователями [36]. Предполагается, что влияние защемления глухих нагелей в железобетонной плите сопоставимо с защемлением их в стальной пластине [6, 18, 19, 28].

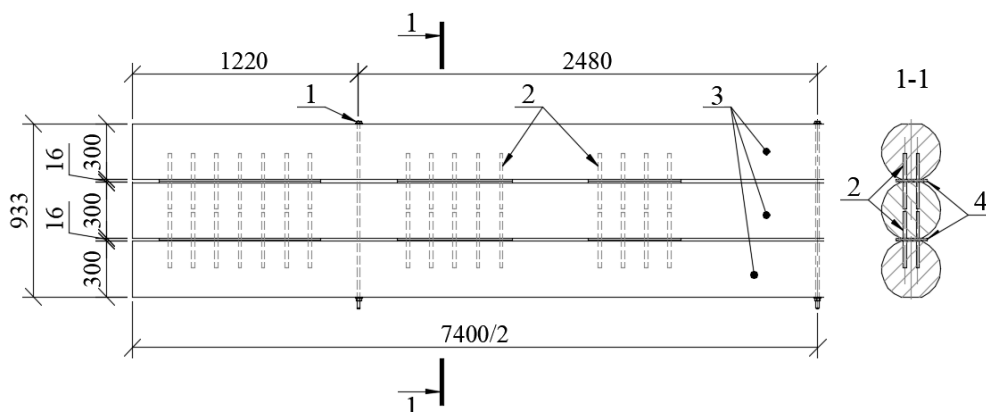


Рис. 1. Конструктивная схема составного прогона из бревен: 1 – стяжной болт; 2 – гребенчатая шпонка; 3 – бревна диаметром 32 см; 4 – сварной шов

Fig. 1. Structural scheme of a composite girder of logs: 1 – coupling bolt; 2 – comb dowel; 3 – logs, \varnothing 32cm; 4 – weld

Согласно теории составных стержней [29], для данного случая составной прогон со связями сдвига (дискретно распределенными гребенчатыми соединениями) и поперечными стяжными болтами представляет собой внутренне статически неопределимую систему метода сил. В качестве основной системы принята система стержней (бревен), обозначенных осевыми линиями, а действия связей сдвига заменены неизвестными парными усилиями сдвига T_i , приложенными к концам консолей, заделанных условно на оси стержня (рис. 2).

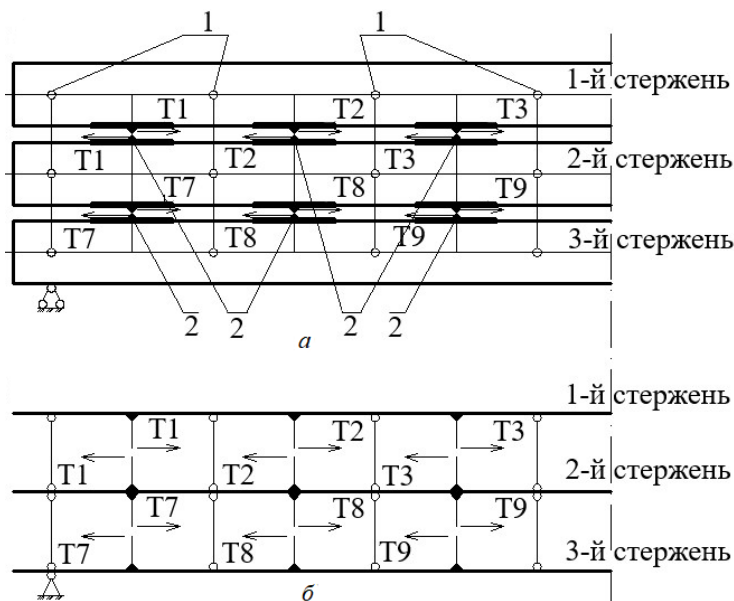


Рис. 2. Основная система составного прогона: *a* – в виде бревен с поперечными (1) и сосредоточенными (2) связями сдвига; *b* – в виде стержневой системы

Fig. 2. The basic system of a composite girder: *a* – as logs with transverse (1) and lumped (2) shear bonds; *b* – as a rod system

Система эквивалентности основной и заданной систем по методу сил представлена в матричной форме:

$$A\vec{T} + \Delta_F + \Delta_T = 0,$$

где A – матрица коэффициентов канонических уравнений; \vec{T} – вектор неизвестных усилий сдвига; Δ_F – вектор грузовых перемещений; Δ_T – предельно допустимый сдвиг.

Несмотря на жесткое соединение связей сдвига посредством сварки кромок стальных пластин, влияние податливости цилиндрических нагелей, защемленных в древесине гнезда нагеля, учтено величиной допускаемого сдвига $\Delta_T = 0,1$ мм [6].

В общем случае метода сил коэффициенты канонических уравнений δ_{ij} и свободные члены (грузовые перемещения) Δ_{iF} системы уравнений определяются по известным формулам Мора с учетом деформаций растяжения (сжатия), сдвига и изгиба:

$$\begin{cases} \delta_{ij} = \int \frac{\bar{N}_i \bar{N}_j}{EA} ds + \int \frac{\bar{Q}_i \bar{Q}_j}{GA/k} ds + \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_j}{EI} ds; \\ \Delta_{iF} = \int \frac{\bar{N}_i N_F}{EA} ds + \int \frac{\bar{Q}_i Q_F}{GA/k} ds + \int \frac{\bar{M}_i M_F}{EI} ds, \end{cases} \quad (1)$$

где $\bar{N}_i, \bar{N}_j, \bar{Q}_i, \bar{Q}_j, \bar{M}_i, \bar{M}_j$ – продольные и поперечные силы, изгибающие моменты в составном прогоне от безразмерных единичных сил $X_i = 1$ и $X_j = 1$ соответственно; EA, GA, EI – жесткости элементов прогонов на растяжение-сжатие, сдвиг и изгиб; k – коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений по высоте поперечного сечения при сдвиге; N_F, Q_F, M_F – продольные и поперечные силы, изгибающие моменты в составном прогоне от действующей нагрузки.

Как известно, в расчетах рамных и балочных систем пренебрегают деформациями растяжения-сжатия, в расчетах шарнирных ферм допускается пренебрегать деформациями изгиба и сдвига. В данном случае при расчете составных прогонов [17] необходим учет влияния на распределение усилий и деформаций в составляющих прогон стержнях изгибающих моментов и продольных сил. Влиянием деформаций поперечного сдвига, составляющих 1 %, можно пренебречь.

В результате решения системы уравнений (1) полученные значения неизвестных усилий в связях сдвига T_i позволяют оценить напряженно-деформированное состояние составного прогона с учетом более точного перераспределения усилий между отдельными бревнами на участках между податливыми гребенчатыми соединениями. Напряженно-деформированное состояние изгиба массивного составного прогона будет представлено в виде напряженно-деформированного состояния системы совместно работающих сжато-изогнутых бревенчатых элементов (стержней).

В итоге могут быть построены эпюры расчетных изгибающих моментов и продольных сил в образующих составной прогон элементах-бревнах и определены соответствующие напряжения. На рис. 3 представлены расчетные эпюры для составного прогона пролетного строения длиной 7,5 м в конструкциях 8 прогонов моста через р. Ушайра (рис. 4, 5).

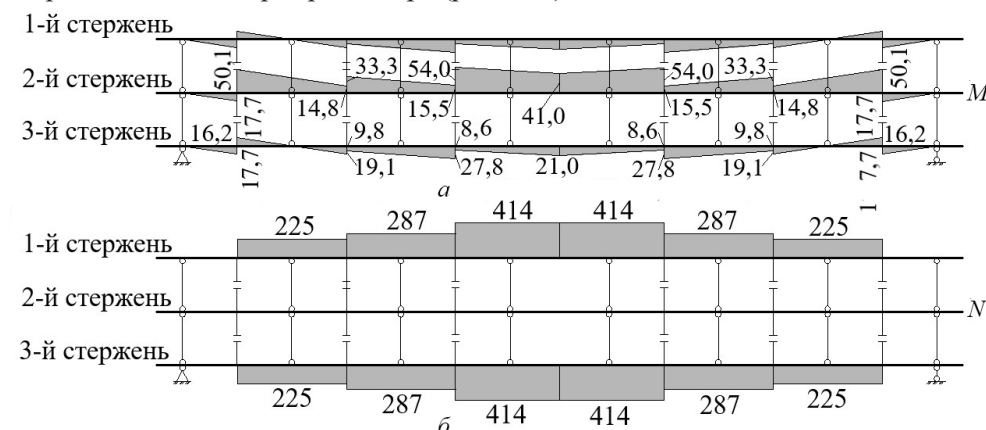


Рис. 3. Эпюры расчетных усилий в составном прогоне: а – изгибающие моменты, M , кНм; б – продольные силы, N , кН

Fig. 3. Diagrams of rated forces in a composite girder: а – bending moments, M , kNm; б – longitudinal forces, N , kN



Рис. 4. Пролетное строение моста через р. Ушайра с составными прогонами из бревен

Fig. 4. The Ushaira river bridge superstructure with composite girders of logs

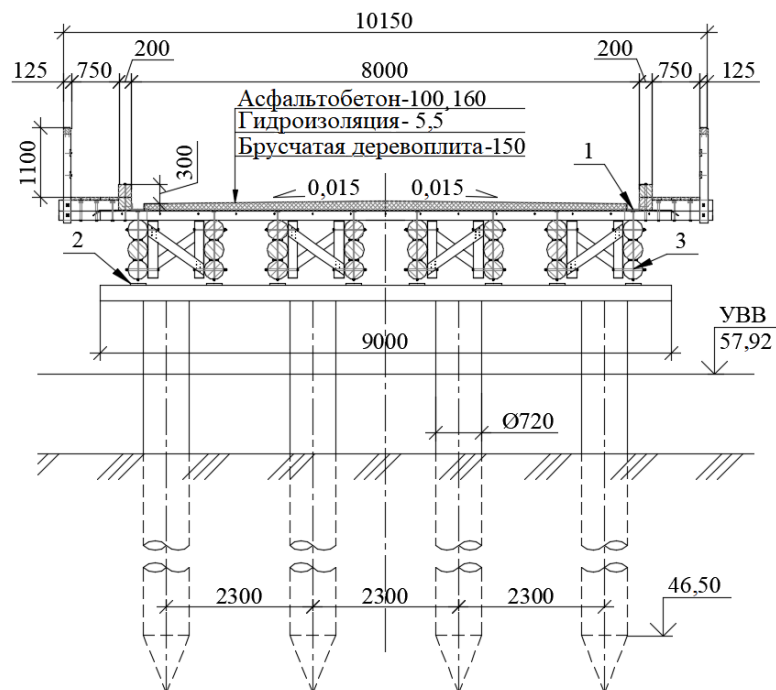


Рис. 5. Поперечное сечение моста через р. Ушайра: 1 – лоток Л-1; 2 – резино-металлическая опорная часть 250×150; 3 – составной прогон (УВВ – уровень высокой воды)

Fig. 5. The Ushaira river bridge cross-section: 1 – tray L-1; 2 – rubber-metal support part 250×150; 3 – composite girder (УВВ – high water level)

Разработанная методика расчета была использована в исследованиях конструкций с составными прогонами длиной 15 м [28].

Исходные данные пролетного строения: расчетный пролет – 14,4 м, габарит – Г10, временная нагрузка – А11 и Н11. Несущие прогоны составлены из 3 рядов 4-ярусных прогонов из окантованных бревен диаметром 32 см, объединенных посредством стяжных болтов и прокладок; причем поперечные стыки бревен выполнены со стальными накладками и болтами, а продольные в швах между бревен – с гребенчатыми соединениями.

Поперечное сечение пролетного строения составлено из 5 несущих прогонов и поперечной брусчатой деревоплиты с асфальтобетонным покрытием по изоляции из мостошлака (рис. 6).

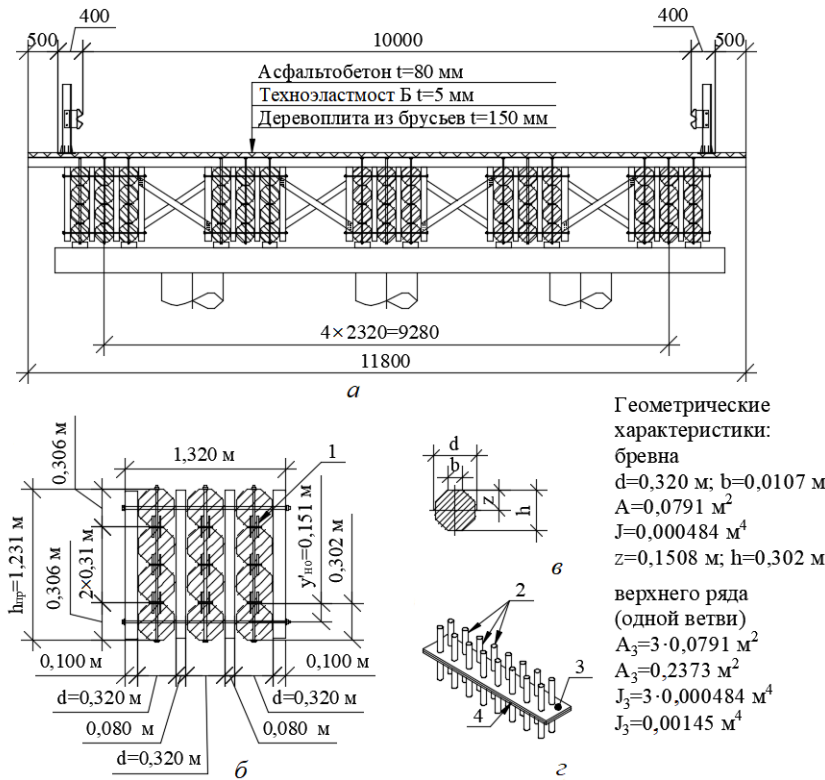


Рис. 6. Поперечное сечение пролетного строения длиной 15 м с брусчатой деревоплитой (а), составной прогон (б), геометрические характеристики бревна (в) и гребенчато-нагельное соединение (г): 1 – нагельное соединение; 2 – стальные нагели диаметром $d = 16 \dots 20$ мм; 3 – стальные пластины $d = 16 \dots 20$ мм; 4 – сварной шов (t – толщины слоев покрытия; $h_{пр}$, b , z , $y'_{но}$, J – геометрические параметры элементов сечения)

Fig. 6. Cross-section of a 15-meter superstructure with a timber bar slab (а) – composite girder, (б) – log geometric characteristics, (в) – comb-dowel joint (г) – 1 – dowel joint; 2 – steel dowels, $\varnothing 16-20$ mm; 3 – steel plates, $\varnothing 16-20$ mm; 4 – weld (t – thicknesses of cover layers; $h_{пр}$, b , z , $y'_{но}$, J – geometric parameters of section elements)

С целью оценки влияния на распределение усилий в составном прогоне изгибающих моментов и продольных сил единичные и грузовые перемещения системы канонических уравнений (1) были вычислены: а) с учетом влияния

только изгибающих моментов; б) при одновременном учете изгибающих моментов и продольных сил.

Оценка влияния такого взаимодействия дана в работе [28], где характер распределения нормальных напряжений в сечениях стержней прогона представлен в виде 2 диаграмм: с учетом влияния только деформаций от изгиба стержней и при одновременном учете изгибающих моментов и продольных сил. Причем в обоих случаях максимальные значения нормальных напряжений во всех расчетных сечениях не превышают расчетных сопротивлений ($R_{ds} = 15,7$ МПа). Вместе с тем при учете влияния продольных сил отмечается более равномерное перераспределение напряжений между отдельными стержнями (бревнами) по высоте прогона без характерных для крайних фибр максимальных значений. В этом смысле целесообразность применения рассмотренных конструкций составных бревенчатых прогонов не вызывает сомнений.

Обращает на себя внимание массивность составных прогонов при пролете 15 м, толщине деревоплиты 15 см и расстоянии между прогонами 2,3 м. Очевидно, что распределяющая способность такой проезжей части недостаточна и существенно влияет на материалоемкость как прогонов, так и всей конструкции в целом. Для перекрытия русловых пролетов в условиях карчехода необходимо предусматривать пролеты длиной не менее 15 м. Возможности применения бревенчатых прогонов и железобетонной плиты проезжей части в одной конструкции при пролетах 15 м [10] были исследованы при строительстве опытного моста через р. Нягов на автомобильной дороге IV технической категории. При этом учтен опыт проектирования деревожелезобетонных мостов с клееными балками [7, 21, 22, 30–35, 37, 38]. В качестве несущих балок приняты 4-ярусные составные прогоны из бревен диаметром 30 см, в качестве соединительных элементов бревен – гребенчатые и нагельные соединения, для объединения монолитной железобетонной плиты с прогонами применены глухие цилиндрические нагели диаметром 16 мм. Конструкция пролетного строения приведена на рис. 7, процессы изготовления прогонов и плиты проезжей части показаны на рис. 8, 9.

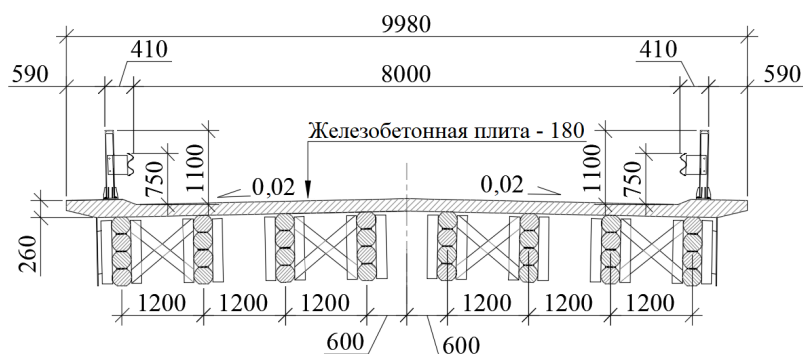


Рис. 7. Поперечное сечение пролетного строения моста, длиной 15 м с составными прогонами из бревен и монолитной железобетонной плитой, через р. Нягов

Fig. 7. Cross-section of a 15-meter superstructure with composite girders of logs and a reinforced concrete slab of the Nyagov river bridge



Рис. 8. Изготовление составных прогонов из бревен длиной 15 м
Fig. 8. Manufacture of composite girders of 15-meter logs



Рис. 9. Изготовление железобетонной плиты проезжей части
(опалубочные работы и устройство нагельных соединений)
Fig. 9. Manufacture of a roadway reinforced concrete slab (formwork
and installation of dowel joints)

Мосты с составными прогонами из бревен не требуют дорогих строительных материалов и оборудования и могут успешно возводиться с использованием местной рабочей силы.

Дощато-гвоздевые пролетные строения. Начало строительства мостов с многорешетчатыми дощатыми фермами Тауна в США отмечено 1820 г. Следом за США эти конструкции нашли применение в Европе и России. Было постро-

ено большое число мостов. Первые такие мосты в России возведены в 40-х гг. XIX в. Наибольшее распространение они получили во время Первой мировой войны. В дальнейшем, в процессе восстановления, реконструкции железных и автомобильных дорог после Гражданской войны, широко применялись дощато-нагельные фермы системы Лембке, а с появлением гвоздевых соединений в 1935 г. – пролетные строения с дощато-гвоздевными фермами, используемыми до настоящего времени. Ограниченность возможностей дощато-гвоздевых ферм при проектировании под возрастающие временные нагрузки и пролеты была связана с увеличением высоты ферм до $1/6$ длины пролета, количества ферм в поперечном сечении, сечений поясов и нерациональным размещением досок поясов. Громоздкость и большая материалоемкость отличала эти фермы при проектировании под нагрузки А11 и НК-80. Все перечисленные недостатки обуславливались несовершенством дощатых многослойных и многоярусных поясов ферм.

В процессе совершенствования дощато-гвоздевых пролетных строений была предложена конструкция [8], составленная из коробчатых дощато-гвоздевых блоков, содержащих вертикальные перекрестные стенки из 2 слоев досок с брусчатыми поясами, усиленными горизонтальными плитами из 2 слоев перекрестных досок, и асфальтированной поперечной деревоплиты.

В период 2004–2005 гг. сотрудниками кафедры мостов СибАДИ по заданию управления дорожного хозяйства Омской области был запроектирован и испытан мост через р. Ушайра с дощато-гвоздевными пролетными строениями новой конструкции (рис. 4, 5, 10). После этого на муниципальных дорогах Омской области построено более 12 деревянных мостов с пролетными строениями длиной 15 м из дощато-гвоздевых блоков [29].

Опыт содержания и эксплуатации моста через р. Ушайра в течение 15 лет, результаты 2 испытаний моста временной нагрузкой позволили положительно оценить его состояние в условиях действующих нагрузок, выявить некоторые недостатки конструкции, подтвердить проектные характеристики и внести предложения по дальнейшему совершенствованию дощато-гвоздевых пролетных строений.

В результате исследований многослойных клееных плит из ортогонально-перекрестных слоев досок [26] были получены данные, свидетельствующие о повышенной несущей способности плит с ориентацией досок по главным направлениям. Это свойство было учтено при проектировании дощато-гвоздевых блоков по патенту на изобретение [13]. В результате вместо конструкции дощато-гвоздевого пролетного строения с 4 дощато-гвоздевными блоками получена конструкция, содержащая 3 блока с поясами, усиленными перекрестными слоями досок продольно-поперечной ориентации. При этом материалоемкость пролетного строения по древесине и металлу уменьшилась на 20 %. Аналогичный результат был получен при усилении брусчатых нижних поясов блоков дополнительным слоем брусьев сверху в середине пролета (рис. 11).

Проезжая часть построенных деревянных мостов с брусчатой деревоплитой, подуклонкой из пескоцемента и железобетонными плитами дорожного покрытия не обеспечивает качественную защиту деревоплиты от увлажнения, особенно в местах повреждения гидроизоляции, размещения колесоотбойного бруса и тротуаров, причем конструктивно защищенные от увлажнения дощато-гвоздевые блоки сохраняют свое первоначальное состояние.

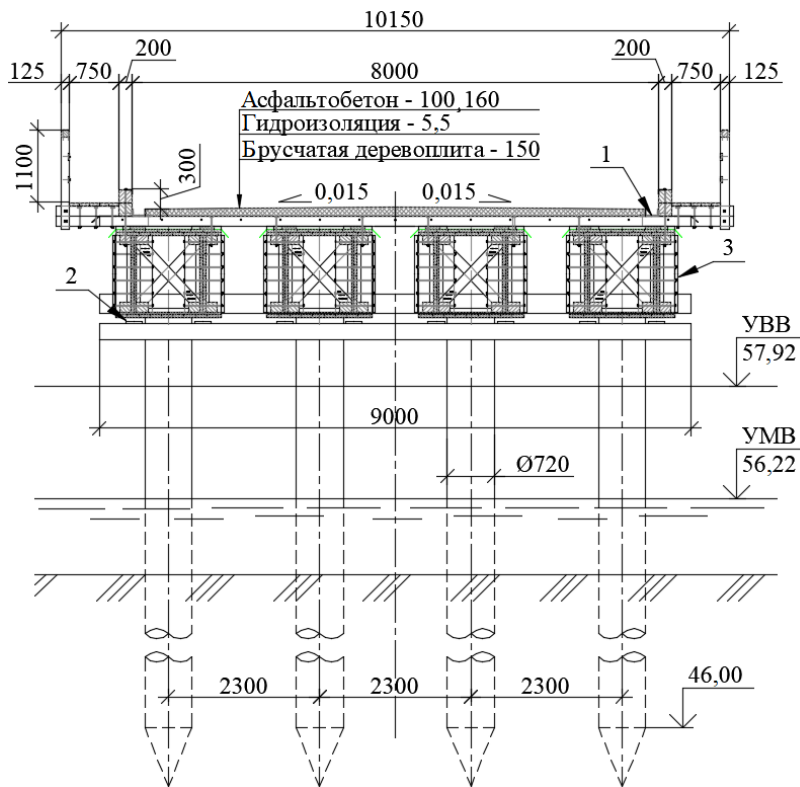


Рис. 10. Поперечное сечение дощато-гвоздевого пролетного строения моста через р. Ушайра: 1 – лоток Л-1; 2 – резино-металлическая опорная часть 250×150; 3 – дощато-гвоздевой блок (УМВ – уровень средней воды)

Fig. 10. Cross-section of a board-nail superstructure of the Ushaira river bridge: 1 – tray L-1; 2 – rubber-metal support part 250×150; 3 – board-nail block



Рис. 11. Мост через р. Оша с 3 дощато-гвоздевными блоками в сечении 15-метровых пролетных строений

Fig. 11. The Osha river bridge with 3 board-nail blocks in the cross-section of 15-meter superstructures

Нормативный срок службы 50 лет для мостов с пролетными строениями из дощато-гвоздевых блоков может быть достигнут за счет конструктивных приемов защиты моста от внешних воздействий со стороны опор и проезжей части. Нет сомнения в том, что у капитальных мостов с деревянными пролетными строениями опоры должны быть капитальными, без применения деревянных конструкций. Наилучшими решениями в современных условиях могут стать свайные опоры на железобетонных или трубчатых стальных сваях.

Конструкция [15] пролетного строения из 3 дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой проезжей части (рис. 12) позволяет существенно улучшить защитные свойства и устранить отмеченные недостатки первоначальной конструкции (см. рис. 10, 11).

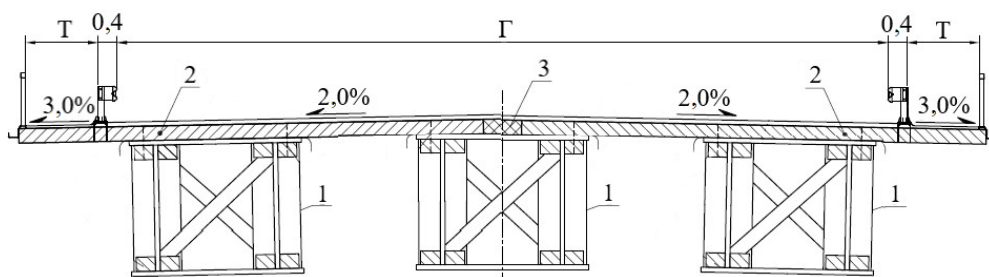


Рис. 12. Поперечное сечение дощато-гвоздевого пролетного строения со сборной железобетонной плитой проезжей части (Г – габарит проезжей части; Т – ширина тротуара)

Fig. 12. Cross-section of a board-nail superstructure with a precast roadway reinforced concrete slab (Г – roadway size; Т – sidewalk width)

Особенность этого решения состоит в том, что вместо поперечной древесной плиты из бруса и железобетонных дорожных плит покрытия проезжей части применена конструкция проезжей части из сборных железобетонных плит 2, уложенных поперек моста на несущие дощато-брусчато-нагельно-гвоздевые блоки 1 с объединением их между собой над средним блоком продольным швом из монолитного железобетона 3. Сформированная железобетонная плита покрыта гидроизоляцией и слоем асфальтобетона, оборудована мостовыми ограждениями, тротуарами и водоотводными устройствами.

Предложенная новая конструкция позволила существенно снизить материалоемкость пролетного строения в древесине, уменьшить трудозатраты и стоимость, увеличить защитные свойства пролетного строения. Все это в целом отвечает современным требованиям, связанным с обеспечением долговечности, надежности, повышением срока службы и капитальности мостов.

Дальнейшее совершенствование конструкции с несущими дощато-брусчато-нагельно-гвоздевными блоками связано с объединением железобетонной плиты проезжей части и дощато-гвоздевых блоков для совместной работы под воздействием постоянной и временной нагрузок. Опыт проектирования и строительства деревобетонных мостов с клееными балками и сталежелезобетонных мостов указывает на эффективность включения железобетонной плиты проезжей части в совместную работу с главными балками. Основным препятствием для конструктивного объединения железобетонной

плиты с дощато-гвоздевыми блоками было отсутствие способов и примеров таких соединений в случае сборных железобетонных плит.

Из работ [6, 7, 21] известны способы объединения монолитной железобетонной плиты путем обетонирования цилиндрических нагелей, установленных (вклеенных) в засверленные вертикальные отверстия клееных балок. Однако реализовать такое соединение ввиду насыщенности верхних брусчатых поясов дощато-гвоздевых блоков поперечными нагельными скреплениями практически невозможно.

Для объединения монолитной железобетонной плиты и верхних брусчатых поясов дощато-гвоздевых блоков было разработано устройство, содержащее гребенчатые парные стальные накладки 5, закрепляемые к брускам 7 поясов сквозными стальными болтами (нагельными) 4 для объединения поясов дощато-гвоздевых блоков со стенками (рис. 13, в). Входящие в монолитное тело железобетонной плиты 2 гребенчатые выступы 9 снабжены стержневыми упорами 10, обеспечивающими совместную работу железобетонной плиты и блоков. Отверстия и вырезы гребенчатых выступов предназначены для пропуска арматурных стержней железобетонной плиты.

В результате запатентована конструкция комбинированного дощато-брусчато-нагельно-гвоздевого пролетного строения моста с железобетонной плитой проезжей части [16], содержащая коробчатые несущие блоки 3 из древесины и монолитную железобетонную плиту проезжей части (рис. 13, а, б), объединенные для совместной работы гребенчатыми стальными накладками со стержневыми упорами 8 (рис. 13, в).

В отличие от конструкции на рис. 12 дощато-брусчато-нагельно-гвоздевые блоки изготовлены без 2-слойного усиления верхнего пояса перекрестными досками в виде открытого сверху корытного профиля. Устройство проезжей части 4 выполняется после установки блоков на опоры, работы над опалубкой днища 1 и изготовления железобетонной плиты проезжей части.

Проектное решение конструкции пролетного строения по патенту (рис. 14) рассмотрено в работе [25]. Запроектировано комбинированное деревожелезобетонное пролетное строение с расчетным пролетом 14,4 м для габарита проезжей части Г-8 + 2Т×0,7 м под временную нагрузку А14 и Н14. Пролетное строение содержит 3 дощато-гвоздевых блока высотой 1,48 м и железобетонную плиту толщиной 18 см, включенную в совместную работу с блоками на 2-й стадии от временной нагрузки (рис. 13).

Пролетное строение представлено в виде составной 2-опорной внутренней статически неопределимой балочной системы с неизвестными усилиями сдвига в местах размещения соединительных устройств. В результате решения системы уравнений метода сил получены значения неизвестных усилий сдвига $T_1 = T_6 = 2056$ кН; $T_2 = T_5 = 669$ кН; $T_3 = T_4 = -433$ кН, позволяющие запроектировать конструкцию и размещение устройств объединения железобетонной плиты и деревянных блоков.

С учетом полученных значений неизвестных усилий сдвига определены расчетные значения продольных сил и изгибающих моментов в деревянной конструкции и продольных сил в железобетонной плите.

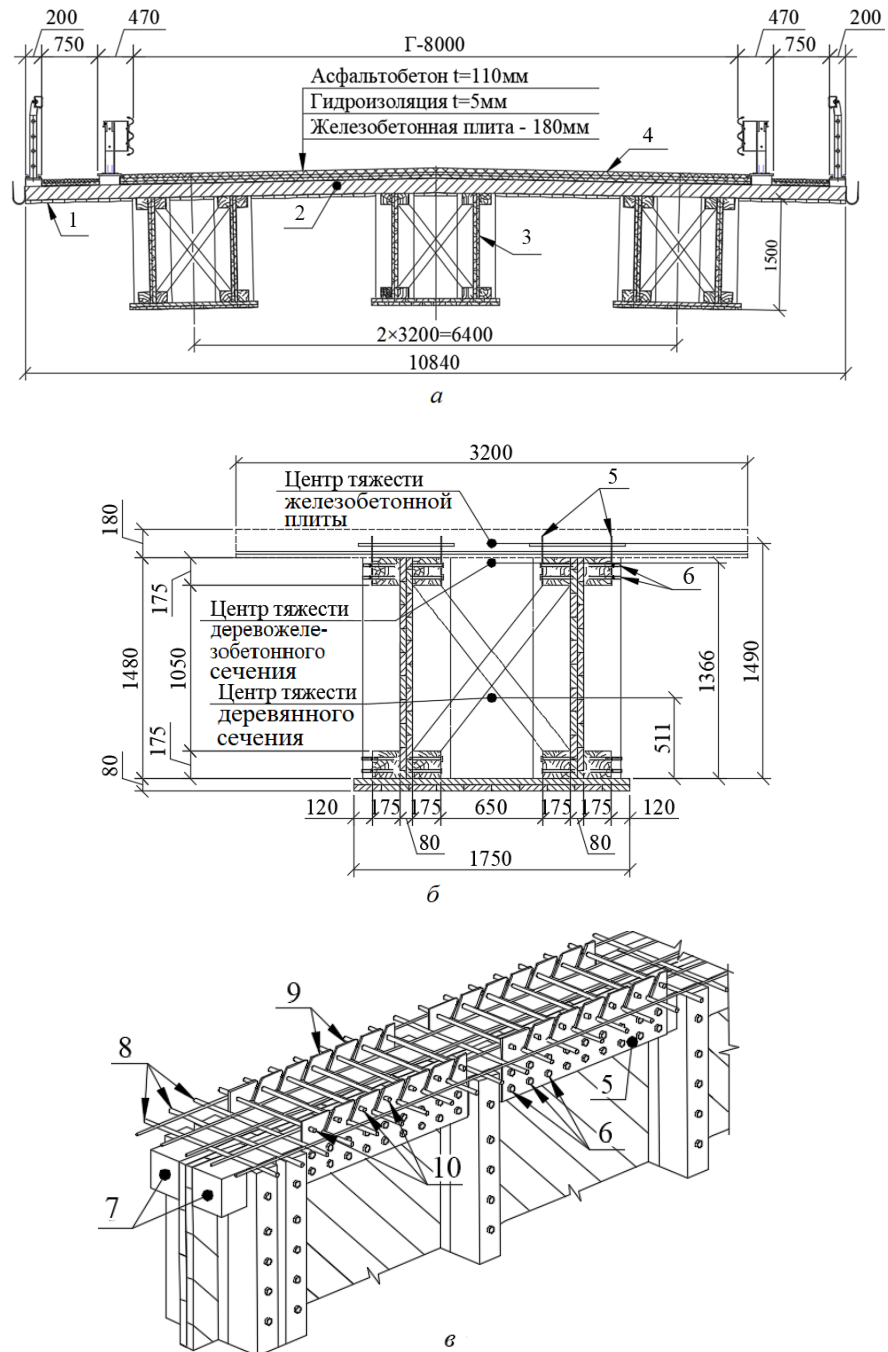


Рис. 13. Поперечное сечение дощато-гвоздевого пролетного строения с монолитной железобетонной плитой проезжей части: *a* – общий вид; *b* – конструкция отдельного блока; *в* – конструкция объединения дощато-гвоздевых блоков с железобетонной плитой

Fig. 13. Cross-section of a board-nail superstructure with a monolithic reinforced concrete slab of the roadway: *a* – general view; *b* – separate block design; *в* – design of the combination of board-nail blocks with a reinforced concrete slab

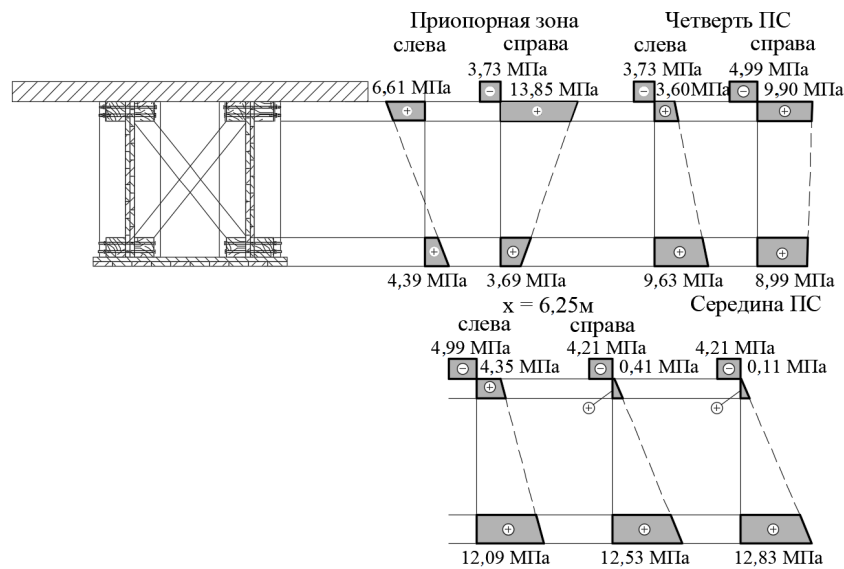


Рис. 14. Эпюры нормальных напряжений в характерных сечениях комбинированного пролетного строения с дощато-гвоздевыми блоками и железобетонной плитой проезжей части (ПС – пролетное строение)

Fig. 14. Diagrams of normal stresses in characteristic sections of a combined superstructure with board-nail blocks and a reinforced concrete slab of the roadway (ПС – superstructure)

На рис. 14 представлены эпюры нормальных напряжений в железобетонной плите и элементах деревянной конструкции в сечениях 1-1, 2-2, 3-3 и 4-4 по длине пролета. Как видно из эпюр, максимальные растягивающие напряжения в деревянных элементах не превышают расчетных сопротивлений, а сжимающие напряжения в железобетонных сечениях плиты заметно ниже расчетных. Причиной этого является необоснованно завышенная толщина железобетонной плиты, принятая в соответствии с требованиями для железобетонных мостов.

Представленные результаты исследования деревянных пролетных строений мостов на автомобильных дорогах в условиях современных автомобильных и колесных нагрузок, возросших требований к безопасности и долговечности свидетельствуют о возможности неограниченного применения таких строений на лесных дорогах с использованием дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых конструкций. Этому способствуют предложенные конструктивно технологические формы пролетных строений из пиломатериала.

Пролетные строения с применением клееной древесины. За последнее 30-летие в зарубежном мостостроении широкое применение получили клееные конструкции [5]. Увеличение производства клееных конструкций в США и распространение его в настоящее время в странах Европы объясняются тем, что приобретенный за последние годы опыт доказал экономичность клееной древесины по сравнению с металлическими и железобетонными конструкциями.

Зарубежный опыт заводского изготовления клееных конструкций в настоящее время внедряется на целом ряде предприятий лесного комплекса страны. При высоких технической оснащенности заводов и культуре производства возможно получение прочных и долговечных мостовых конструкций из клее-

ной древесины. Действующие в стране предприятия по изготовлению деревянных клееных конструкций (ДКК) ориентированы в основном на номенклатуру промышленно-гражданского строительства [4] (клееный брус, клееные балки, элементы ограждений и т. п.). Заказы от транспортных строителей практически отсутствуют. Возможности заводов ДКК для деревянного мостостроения не используются, хотя опыт применения клееных балок в Архангельской области, Республике Коми и других регионах в 70–80 гг. XX в. свидетельствует о большой заинтересованности страны в развитии и применении этих конструкций на дорогах лесной отрасли.

Как показало время, независимо от того, из какого материала построен мост, через 50 лет транспортные условия меняются и конструкции сооружений требуют модернизации. Поэтому экономически не всегда оправдываются затраты на строительство более капитального и дорогостоящего сооружения на том основании, что он будет служить более 50 лет.

Из опыта применения мостов с клееными балками в нашей стране установлено, что основными причинами преждевременного выхода из строя деревянных мостов стали не балки, а деревянные свайные и на свайном основании опоры, разрушаемые карчеходами и ледоходами, и деревянная проезжая часть. Известно, например, что клееные балки после разборки отслуживших свой срок мостов повторно использовались на строительстве временных мостов подъездных дорог и служили в составе их конструкции продолжительное время. Таким образом, увеличение срока службы деревянных мостов с клееными балками связано с модернизацией проезжей части и опор.

В США 50-летний срок службы мостов с клееными балками обеспечивался за счет конструктивных мероприятий. На начальном этапе для выполнения требований по защите древесины от гниения все элементы мостов, включая сваи, обстройку опор, балки, элементы проезжей части, подвергались обязательному антисептированию креозотом в автоклавах. В нашей стране этот способ защиты применялся в основном для шпал и мостовых брусьев железнодорожных мостов. Клееные балки автодорожных мостов подвергались поверхностному антисептированию.

На втором этапе применения клееных балок в мостовом строительстве в США широкое распространение получил метод устройства железобетонной плиты по антисептированной древоплите из вертикальных досок. В нашей стране предпочтение было отдано проезжей части из поперечных древоплит с асфальтобетонным покрытием. Однако эта конструкция показала себя недолговечной и была снята с производства. Взамен предложена конструкция древобетонных мостов с комбинированными пролетными строениями, содержащими клееные балки прямоугольного сечения в совместной работе с железобетонной плитой проезжей части. Начало положено трудами отечественных ученых Б.А. Глотова, В.И. Кулиша, И.Ю. Белуцкого [6, 7] и др. Разработаны типовые проекты, построено несколько мостов в Архангельской области и Хабаровском крае, но массово данная конструкция не применялась: сдерживала отсталая технология изготовления клееных балок. Состоянию, теории, исследованиям, проектированию древожелезобетонных мостов с клееными балками и железобетонной плитой посвящены известные работы В.П. Стукова [20–23]. Эти конструкции соответствуют всем требованиям, предъявляемым к современным мостам, и в условиях современного производства ДКК должны получить признание.

Длительная эксплуатация деревянных мостов, содержащих клееные элементы и конструкции, доказала полную надежность клеевых соединений.

В настоящее время усилия специалистов направлены на упрощение монтажа. В США и других западных странах наибольшее распространение получили конструкции, которые монтируются в короткие сроки из крупных сборных блоков, привозимых с завода на место работ. Особое место занимают ребристые и коробчатые балочные пролетные строения, собираемые из плит, балок, блоков и объединяемые в целое посредством поперечного обжатия усилиями напрягаемых стержней [24, 26, 27].

На кафедре мостов СибАДИ проведены исследования по применению цельноклееных пролетных строений на основе совместной работы клееных балок и многослойной древесоплиты из ортогональных слоев горизонтальных досок-заготовок [27], получены патенты на изобретения [9, 11, 12]. Наибольшее практическое значение имеет конструкция дощато-клееного пролетного строения моста заводского изготовления [14].

В отличие от зарубежных аналогов [31] предлагаемое пролетное строение (рис. 15) составлено из цельноперевозимых секций 1, содержащих клееные балки 2 и многослойную клееную древесоплиту 3, объединяемых при монтаже по смежным ребрам (балкам) 4 посредством склеивания и обжатия вертикальных ребер жесткости 6 высокопрочными стальными стержнями 5. Верхняя сторона древесоплиты, включая кромки 7, покрыта гидроизоляцией, а продольные швы 8 заполнены мастикой. На проезжей части укладывается асфальтобетон 9. Объединение секций производится обжатием клеевых швов между внешними ребрами жесткости продольных ребер посредством напрягаемых стальных стержней и образования сдвоенных ребер.

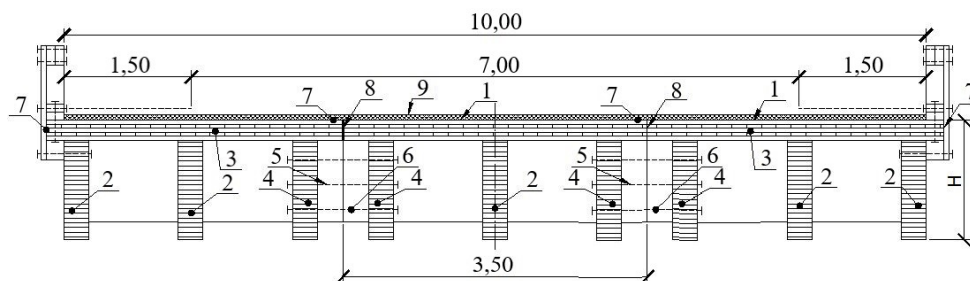


Рис. 15. Поперечное сечение сборного дощато-клееного пролетного строения заводского изготовления по патенту [14]

Fig. 15. Cross-section of a precast board-laminated superstructure prefabricated according to the patent [14]

Положительной стороной предлагаемого решения является применение вместо обжатой усилиями напрягаемых стержней древесоплиты проезжей части из досок «на ребро» многослойной перекрестной древесоплиты из досок, склеенных «по пласти» [27]. В этом исполнении древесоплита работает как единый композит с одинаковыми свойствами как в продольном, так и в поперечном направлении пролета. Нет опасности веерного раскрытия плиты в поперечном направлении при ослаблении усилий обжатия. Кроме того, необходимо отметить более высокие водозащитные свойства древесоплиты с горизонтальным размещением досок, когда все швы между досками перекрыты.

Конструкция пролетного строения из блоков заводского производства предусматривает возможность изготовления пролетных строений в условиях, обеспечивающих соблюдение требований, предъявляемых к режиму склеивания [5].

На мировом рынке деревянного домостроения наиболее перспективной, согласно Стратегии, технологией является технология сборки зданий из перекрестно-клеенных панелей. Предложенные авторами технические решения дощато-клееных пролетных строений, содержащих в своем составе многослойную деревоплиту из перекрестных досок, вписываются в область их практической реализации в условиях домостроительных предприятий. Это позволит существенно расширить область применения клееной древесины, используемой в мостостроении и на лесных дорогах в частности.

Другим направлением доступного применения ДКК в мостах на лесных дорогах лесного комплекса нашей страны является применение деревоклееных балок в совместной работе с железобетонной плитой проезжей части [20–22]. Эти конструкции соответствуют всем современным требованиям к мостам и по нагрузкам, и по долговечности. Для развития данного направления потребуются строительство всего лишь нескольких производственных предприятий по изготовлению клееных балок.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования пролетных строений с составными прогонами из бревен с гребенчатыми соединениями и брусчатой деревоплитой проезжей части позволили установить возможности их применения при современных автомобильных нагрузках для пролетов 7–8 м. Данные конструкции пролетных строений были внедрены в проектах для пойменных пролетов мостов на дорогах Омской области (см. рис. 4).

Возможности применения бревенчатых прогонов и железобетонной плиты проезжей части в совместной работе при пролетах 15 м были исследованы (рис. 16) при строительстве опытного моста через р. Нягов на автомобильной дороге IV технической категории. При всех схемах загрузки отмечено соответствие результатов экспериментального и теоретического исследований. Подтверждены проектные характеристики жесткости деревожелезобетонного пролетного строения с составными прогонами из бревен.



Рис. 16. Испытание моста через р. Нягов. Установка временной нагрузки

Fig. 16. The Nyagov river bridge testing. Installation of live load

Работа спаренного составного прогона и применяемых соединений была исследована испытанием статической нагрузкой на месте их изготовления и после установки на опоры (рис. 17). Замеренные при этом прогибы и деформации в характерных сечениях свидетельствовали о соответствии экспериментальных и теоретических значений.



Рис. 17. Испытание спаренного составного прогона статической нагрузкой (в пролете)

Fig. 17. Static load test of a coupled composite girder (in the span)

В итоге конструкции пролетных строений с составными прогонами из бревен могут быть использованы при строительстве деревянных мостов на современных лесных дорогах при действующих сейчас временных нагрузках: при пролетах до 8 м – с деревянной проезжей частью; при пролетах 15–18 м – с железобетонной плитой проезжей части из монолитного железобетона.

К числу положительных характеристик рассмотренных дощато-гвоздевых конструкций пролетных строений следует отнести:

возможность перекрывать пролеты длиной 12, 15, 18 м и более при действующих современных автомобильных нагрузках;

применение местных строительных материалов (круглого леса, окантованных бревен, бруса и досок) естественной сушки;

изготовление мостовых конструкций на полигонах (стройдворах) с использованием передвижного оборудования и местных рабочих кадров;

защиту изготовленных конструкций трудновываемыми антисептиками путем нанесения их на поверхность распылением или кистями;

низкую стоимость мостов с рассматриваемыми конструкциями (в 1,5 раза) в сравнении с рекомендуемыми для лесных дорог железобетонными мостами;

обеспечение срока службы не менее 15 лет.

В число недостатков этих конструкций входит подверженность атмосферным воздействиям деревянной проезжей части. Предложенные взамен комбинированные пролетные строения, включающие несущие коробчатые до-

щато-брусчато-нагельно-гвоздевые блоки (дощато-гвоздевые блоки) и железобетонную плиту проезжей части вместо брусчатой деревоплиты и дорожных плит покрытия (см. рис. 12), конструктивно защищены от атмосферных и биологических воздействий при одновременном снижении расхода древесины.

Наиболее эффективным деревобетонным пролетным строением может быть конструкция, в которой монолитная железобетонная плита проезжей части включена в совместную работу с несущими блоками. Как известно из опыта возведения деревобетонных мостов с клееными балками, этот прием существенно повышает защитные свойства несущей древесины и снижает их материалоемкость. Однако конструкция, объединяющая железобетонную плиту с клееными балками, не может быть использована для ее объединения с верхними брусчатыми поясами дощато-гвоздевых блоков ввиду их насыщенности горизонтальными нагельными и болтами. Предложенная (см. рис. 13) конструкция соединительных устройств дощато-гвоздевых блоков с железобетонной плитой проезжей части позволяет с наибольшим успехом применять деревобетонные пролетные строения на основе совместной работы железобетонной плиты и дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков. Можно с уверенностью утверждать о целесообразности их применения на лесных дорогах в нашей стране.

Что касается пролетных строений из клееной древесины, то следует отметить особенности их применения: клееные конструктивные элементы, детали необходимо изготавливать на специализированных предприятиях, в заводских условиях; действующие в настоящее время в РФ предприятия ДКК специализируются в основном на выпуске клееного бруса и клееных балок ограниченных типоразмеров, позволяющих использование продукции в пролетах до 12 м; развивающееся за рубежом производство клееных плит и панелей из перекрестных досок, необходимое для формирования плитно-ребристых систем пролетных строений мостов, в нашей стране пока отсутствует.

Таким образом, применение прогрессивных мостовых конструкций на основе клееной древесины сдерживается из-за отсутствия необходимой инфраструктуры по переработке древесины.

Заключение

Важнейшей из проблем обеспечения народного хозяйства лесосырьевыми ресурсами является проблема транспортной доступности территорий, богатых лесом. Потребность в строительстве новых лесных дорог круглогодичного действия составляет 2,1 тыс. км и 9,3 тыс. км в год сезонного действия. Положение осложняется в связи с переводом транспортных сооружений на новые, более тяжелые временные нагрузки. Предстоят серьезные изменения в области проектирования и строительства мостовых сооружений.

В нормативных документах по лесным дорогам главное место отведено так называемым постоянным деревянным мостам. Ранее применяемые в дорожном строительстве деревянные мосты не соответствуют современным нагрузкам, требованиям по долговечности и безопасности движения, сняты с производства и заменены капитальными (железобетонными, стальными, сталежелезобетонными), в исключительных случаях используются как временные.

На кафедре «Мосты и тоннели» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета разработаны новые конструкции пролетных

строений мостов из древесины на основе составных бревенчатых прогонов, дощато-гвоздевых коробчатых блоков и цельноперевозимых дощато-клееных блоков заводского изготовления. В содружестве с управлением дорожного хозяйства Омской области были запроектированы и построены ряд мостов с пролетами из бревен и дощато-гвоздевых блоков. Исследования напряженно-деформированного состояния построенных пролетных строений под воздействием автомобильных нагрузок показали соответствие экспериментальных и теоретических результатов.

Рассмотренные в данной статье конструкции пролетных строений из древесины могут быть с успехом внедрены на лесовозных дорогах. Научно-исследовательская лаборатория кафедры располагает возможностями проектирования описанных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. А. с. 29938 U1 РФ, МПК E01D 2/0. Пролетное строение с составными прогонами из бревен: № 2002131869/20: заявл. 02.12.2002: опубл. 10.06.2003 / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, М.Ю. Каретников.

Utkin V.A., Puzikov V.I., Karetnikov M.Yu. *Superstructure with Composite Girders Made of Logs*. Certificate of Authorship RF, no. RU 29938 U1, 2003. (In Russ.).

2. Гибшман Е.Е. Проектирование деревянных мостов. М.: Транспорт, 1976. 272 с. Gibshman E.E. *Designing of Wooden Bridges*. Moscow, Transport Publ., 1976. 272 p. (In Russ.).

3. Дмитриев П.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Специальный курс. Автодорожные и пешеходные мосты. Оренбург: Газпромпечат, 2002. 192 с.

Dmitriev P.A. *Structures of Wood and Plastics. Special Course. Road and Pedestrian Bridges*. Orenburg, Gazprompechat' Publ., 2002. 192 p. (In Russ.).

4. Инструкция по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций для производственных сельскохозяйственных зданий. М.: Минсельхоз РФ, 2004. 78 с.

Guidelines for the Manufacture and Quality Control of Wooden Laminated Structures for Industrial Agricultural Buildings. Moscow, Minsel'khoz RF Publ., 2004. 78 p. (In Russ.).

5. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Стройматериалы, 2005. 336 с.

Koval'chuk L.M. *Production of Wooden Laminated Structures*. Moscow, Stroymaterialy Publ., 2005. 336 p. (In Russ.).

6. Кулиш В.И. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой. М.: Транспорт, 1979. 160 с.

Kulish V.I. *Laminated Wooden Bridges with Reinforced Concrete Slab*. Moscow, Transport Publ., 1979. 160 p. (In Russ.).

7. Кулиш В.И., Белуцкий И.Ю., Быков Б.С., Цуканов В.П. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации клееных деревянных мостов с железобетонной плитой // Автомобильные дороги. 1982. № 10. С. 7–9.

Kulish V.I., Belutskiy I.Yu., Bykov B.S., Tsukanov V.P. Experience of Designing, Construction and Operation of Laminated Wooden Bridges with Reinforced Concrete Slab. *Avtomobil'nyye dorogi*, 1982, no. 10, pp. 7–9. (In Russ.).

8. Патент 2169812 C1 РФ, МПК E01D 2/04. Дощато-гвоздевое пролетное строение: № 99121132/03: заявл. 08.10.1999: опубл. 27.06.2001 / В.А. Уткин, В.И. Пузиков.

Puzikov V.I., Utkin V.A. *Nailed-Board Span*. Patent RF, no. RU 2 169 812 C1, 2001. (In Russ.).

9. Патент 2204644 С2 РФ, МПК E01D 2/00, E01D 2/04. Дощато-клееное пролетное строение: № 2001113605/03: заявл. 23.05.2001: опубл. 20.05.2003 / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, П.Н. Кобзев.

Utkin V.A., Puzikov V.I., Kobzev P.N. *Board-Bonded Span*. Patent RF, no. RU 2 204 644 C2, 2003. (In Russ.).

10. Патент 35636 РФ, МПК E01D 2/04. Пролетное строение с составными прогонами из бревен и железобетонной плитой: № 2003129340/20: заявл. 06.10.2003: опубл. 27.01.2004 / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, Е.Ю. Селезень.

Utkin V.A., Puzikov V.I., Selezenev E.Yu. *Superstructure with a Reinforced Concrete Slab and Composite Girders of Logs*. Patent RF, no. RU 35636 U1, 2004. (In Russ.).

11. Патент 2258110 С1 РФ, МПК E01D 2/04. Дощато-клееное пролетное строение: № 2003134339/03: заявл. 26.11.2003: опубл. 10.08.2005 / В.А. Уткин, Г.М. Кадисов.

Utkin V.A., Kadisov G.M. *Glued Timber Span Structure*. Patent RF, no. RU 2 258 110 C1, 2005. (In Russ.).

12. Патент 69528 U1 РФ, МПК E01D 2/04. Плитное дощато-клееное пролетное строение: № 2006139544/03: заявл. 07.11.2006: опубл. 27.12.2007 / В.А. Уткин, Г.М. Кадисов, П.Н. Кобзев.

Utkin V.A., Kadisov G.M., Kobzev P.N. *Slab Board-Glued Superstructure*. Patent RF, no. RU 69 528 U1, 2007. (In Russ.).

13. Патент 2436889 С1 РФ, МПК E01D 2/04. Пролетное строение из коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков: № 2010114485/03: заявл. 12.04.2010: опубл. 20.12.2011 / В.А. Уткин, В.И. Пузиков.

Utkin V.A., Puzikov V.I. *Superstructure from Box-Type Plank-Stacked-Towel-Nail Blocks*. Patent RF, no. RU 2 436 889 C1, 2011. (In Russ.).

14. Патент 106258 U1 РФ, МПК E01D 2/04. Дощато-клееное пролетное строение моста заводского изготовления: № 2010119623/03: заявл. 17.05.2010: опубл. 10.07.2011 / В.А. Уткин, О.С. Эпова.

Utkin V.A., Epova O.S. *Factory-Made Board-Glued Bridge Superstructure*. Patent RF, no. RU 106 258 U1, 2011. (In Russ.).

15. Патент 2574240 С1 РФ, МПК E01D 2/04. Пролетное строение из коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой: № 2014136865/03: заявл. 10.09.2014: опубл. 10.02.2016 / В.А. Уткин, П.Н. Кобзев, В.И. Пузиков, Б.В. Казанцев.

Utkin V.A., Kobzev P.N., Puzikov V.I., Kazantsev B.V. *Span from Boxy Boarded-Block-Dowel-Nail Units with Reinforced Concrete Board*. Patent RF, no. RU 2 574 240 C1, 2016. (In Russ.).

16. Патент 2731968 С1 РФ, МПК E01D 2/04. Деревобетонное пролетное строение из дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой, включенной в совместную работу с блоками: № 2019117816: заявл. 07.06.2019: опубл. 09.09.2020 / В.А. Уткин, И.И. Готовцев.

Utkin V.A., Gotovtsev I.I. *Wood-Concrete Span from Plank-Cobble-Dowel-Nailing Blocks with Reinforced Concrete Plate, which is Included into Joint Operation with Blocks*. Patent RF, no. RU 2 731 968 C1, 2020. (In Russ.).

17. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 316 с.
Rzhanitsyn A.R. *Compound Bars and Plates*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 316 p. (In Russ.).

18. Смирнов П.Н. Сравнение методик расчета нагельных соединений деревянных конструкций. Отечественный и зарубежный опыт // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 6. С. 68–72.

Smirnov P.N. Comparing Calculation Methods for Doweltype Connections in Timber Structures. Domestic and Foreign Experience. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2013, no. 6, pp. 68–72. (In Russ.).

19. Смирнов П.Н., Шенгелия А.К. Особенности работы нагельных соединений со стальными накладками и прокладками. Методика расчета // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 2. С. 19–25.

Smirnov P.N., Shengelia A.K. Features of Plated Dowel Type Connections Performance. Calculation Methods. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2015, no. 2, pp. 19–25. (In Russ.).

20. Стуков В.П. Анализ состояния мостов с балками из клееной древесины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2006. № 6. С. 52–57. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/d42/d42084c600b91ccc1aa16e18223d16dd.pdf>

Stukov V.P. Bridges' State Analysis with Laminated Wood Beams. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2006, no. 6, pp. 52–57. (In Russ.).

21. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты на автомобильных дорогах. Архангельск: Севмашвтуз, 2009. 453 с.

Stukov V.P. *Timber-Reinforced Concrete Girder Bridges on the Roads*. Arkhangelsk, Sevmashtuz Publ., 2009. 453 p. (In Russ.).

22. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты: состояние, теория, исследование, проектирование: моногр. Архангельск: САФУ, 2014. 316 с.

Stukov V.P. *Timber-Reinforced Concrete Girder Bridges: State, Theory, Research and Designing*: Monograph. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2014. 316 p. (In Russ.).

23. Стуков В.П. Основы теории расчета деревожелезобетонных пролетных строений балочных мостов на автомобильных дорогах: моногр. Архангельск: САФУ, 2014. 170 с.

Stukov V.P. *Fundamentals of the Theory of Calculation of Wood Reinforced Concrete Span Structures of Beam Bridges on the Roads*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2014. 170 p. (In Russ.).

24. Уткин В.А. Проектирование и строительство балочного пролетного строения из клееной древесины // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте: сб. докл. IX Междунар. конф. по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте, Санкт-Петербург, 27–28 мая 2014 г. СПб.: ПГУПС императора Александра I, 2015. С. 206–215.

Utkin V.A. Design and Construction of Girder Superstructure Made of Laminated Timber. *Problems of Strength of Materials and Structures in Transport: Proceedings of the IX International Conference*. Saint Petersburg, 2015, pp. 206–215. (In Russ.).

25. Уткин В.А., Готовцев И.И. Применение гребенчатых упоров для объединения железобетонной плиты и дощато-гвоздевой конструкции пролетного строения моста // Вестн. СибАДИ. 2020. Т. 17, № 3. С. 414–427.

Utkin V.A., Gotovtsev I.I. Crested Shear Connectors Application to Combine Reinforced Concrete Slab and Plank-Nailed Structure of Bridge Span. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020, vol. 17, no. 3, pp. 414–427. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

26. Уткин В.А., Кобзев П.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния ребристого пролетного строения из клееной древесины // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 10. С. 94–100.

Utkin V.A., Kobzev P.N. Studying the Stress-Strain Behavior of the Ribbed Superstructure Made of Laminated Timber. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 2005, no. 10, pp. 94–100. (In Russ.).

27. Уткин В.А., Кобзев П.Н. О совершенствовании конструктивно-технологических форм плитно-ребристых пролетных строений из клееной древесины // Вестн. СибАДИ. 2019. Т. 16, № 1. С. 76–88.

Utkin V.A., Kobzev P.N. On Perfection of Constructive and Technological Forms of Plate and Ribbed Transfer Structures from Glued Timber. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2019, vol. 16, no. 1, pp. 76–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-1-76-89>

28. Уткин В.А., Кобзев П.Н., Шатунова Е.Г. Разработка и совершенствование балочных пролетных строений на основе составных прогонов из бревен // Вестн. СиБАДИ. 2018. Т. 15, № 5. С. 760–773.

Utkin V.A., Kobzev P.N., Shatunova E.G. Development and Improvement of Beam Structures on the Basis of Composite Logs' Girders. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2018, vol. 15, no. 5, pp. 760–773. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-5-760-773>

29. Уткин В.А., Пузиков В.И., Кобзев П.Н. Опыт внедрения новой конструкции дощато-гвоздевого пролетного строения в дорожном строительстве Омской области // Дороги и мосты. 2008. Вып. 19/1. С. 162–174.

Utkin V.A., Puzikov V.I., Kobzev P.N. Introduction Experience of New Structure of Plank Nailed Span in Road Construction of Omsk Region. *Dorogi i mosty*, 2008, iss. 19/1, pp. 162–174. (In Russ.).

30. Ягнюк Б.Н. Теоретические основы проектирования деревянных конструкций по нормам Европейского союза – Еврокоду 5. Петрозаводск: ПетрГУ, 2002. 140 с.

Yagnyuk B.N. *Theoretical Foundations for Designing Wooden Structures in Accordance with the Standards of the European Union – Eurocode 5*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2002. 140 p. (In Russ.).

31. Cesaro G., Piva F. *Timber Bridges – Design and Durability*. Master's Thesis. Göteborg, Sweden, Chalmers University of Technology, 2003.

32. Dyken T. Tynset Bridge. *Nordic Road and Transport Research*. 2002, no. 1.

33. Giluń A., Meronk J. *Stress-Laminated Timber T-Beam and Box-Beam Bridges*. Master's Thesis. Göteborg, Sweden, Chalmers University of Technology, 2006. 125 p.

34. *Handbook 1 – Timber Structures*. TEMTIS, 2008. 243 p.

35. Jöbstl R.-A., Bogensperger T., Moosbrugger T., Schickhofer G. A Contribution to the Design and System Effect of Cross Laminated Timber. *Proceedings of the CIB W18, 39th Meeting*. Florenz, Italy, 2006.

36. Jutila A., Wiio M., Mäkipuro R., Haakana P., Wistbacka J., Salokangas L. *Development of Wood Bridges Research Project: Literature Survey of Shear Connections of Wood-Concrete Composite Bridges*. Espoo, TKK, 1994. 14 p.

37. Malo K., Holmestad A., Larsen P. Fatigue Strength of Dowel Joints in Timber Structures. *Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering 2006 (WCTE 2006)*. Portland, OR, 2006, pp. 1400–1408.

38. Wacker J.P. *Cold Temperature Effects on Stress-Laminated Timber Bridges. A Laboratory Study*. Research Paper FPL–RP–605. Madison, WI, USDA, 2003. 22 p.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest