УДК 624.271

РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ НА ОСНОВЕ СОСТАВНЫХ ПРОГОНОВ ИЗ БРЕВЕН

В.А. Уткин, П.Н.Кобзев, Е.Г. Шатунова
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Опыт проектирования и строительства балочных пролетных строений деревянных мостов с составными прогонами указывает на возможность увеличения несущей способности конструкции и длины перекрываемых пролетов.*
Материалы и методы. *Наиболее рациональными несущими элементами составных прогонов могут служить окантованные на два канта бревна диаметром 28...32 см с максимальным использованием наиболее прочных слоев заболонной древесины и нагельных соединений из стальных пластин с глухими цилиндрическими нагелями.*
Результаты. *В отличие от известных соединений составных прогонов на пластинчатых нагелях предлагаемое соединение в значительной степени упрощает процесс изготовления составных прогонов, позволяет применять стыкование бревен по длине с объединением их в трех-четырехъярусные прогоны и увеличивать длину пролета.*
Заключение. *Предлагаемые решения способствуют увеличению несущей способности составных прогонов и позволяют применять их в конструкциях пролетных строений деревянных мостов при современных автомобильных нагрузках. Разработан метод расчета составных прогонов на основе метода сил и дискретного размещения в швах между бревнами сосредоточенных упругоподатливых связей сдвига.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *составные прогоны из окантованных бревен, стальные пластины с защемленными глухими цилиндрическими нагелями, напряжения смятия нагельного гнезда, несущая способность глухого цилиндрического нагеля, гребенчатые соединения.*

© В.А. Уткин, П.Н.Кобзев, Е.Г. Шатунова

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF BEAM STRUCTURES ON THE BASIS OF COMPOSITE LOGS' GIRDERS

V.A. Utkin, P.N. Kobzev, E.G. Shatunova
Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *Experience in the design and construction of beam structures of wooden bridges with composite girders indicates the possibility of increasing the bearing capacity and the length of the overlapped spans.*
Materials and methods. *The most rational load-bearing elements of composite girders can serve as the logs edged on two edges with the diameter of 28 to 32 cm with the maximum use of the most durable layers of sapwood and dowel connections of steel plates with blind cylindrical nags.*
Results. *In contrast to the compounds of composite girders on lamellar nails, the proposed connection greatly simplifies the process of making the composite girders. Such connection also allows using the logging along the length, combining into three or four tiers and increasing the length of the span.*
Discussion and conclusion. *The proposed solutions increase the load-bearing capacity of composite girders and allow them to be used in the structures of wooden bridges under modern automotive loads. Moreover, the calculation method of composite girders on the basis of the method of forces and discrete placement in the beams between the logs of concentrated elastic-datum shear bonds is developed.*

KEYWORDS: *composite girders of banded logs, steel plates with clamped deaf cylindrical dowel, dowel's nest crushing stresses, the bearing capacity of a blind cylindrical dowel, comb-like connections.*

© V.A. Utkin, P.N. Kobzev, E.G. Shatunova

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

ВВЕДЕНИЕ

Основной предпосылкой для разработки и совершенствования деревянных пролетных строений является свод правил [СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1)], согласно которого для проектирования деревянных мостов установлена автомобильная нагрузка А11 и колесная в виде тележки Н11 с нагрузкой на ось 14К. Возросшим требованиям пропуска по деревянным мостам современных нагрузок должны соответствовать новые конструктивно технологические формы пролетных строений, отвечающие также современным требованиям по долговечности и индустриальности производства.

Среди многочисленных требований, предъявляемых к капитальным деревянным мостам, необходимо выделить следующие:

- деревянные мосты допускается проектировать на автомобильных дорогах IV и V категории с габаритами Г-10 и Г-8 и возможностью уменьшения их на 1–2 метра в исключительных случаях;
- нормативную временную вертикальную нагрузку от подвижного состава на автомобильных дорогах всех назначений следует принимать в виде полос А11 и тележек Н11;
- расстояние между промежуточными опорами в свету при наличии карчехода следует назначать с учетом карчей, но не менее 15,0 м.

Применение древесины наиболее эффективно в лесных районах страны, где этот материал производится и может использоваться в строительстве мостов без дополнительных затрат на перевозки и переработку, где дорожная сеть формируется автомобильными дорогами IV и V категории, а автомобильные нагрузки не ниже А11 и Н11. Вместе с тем при назначении длин пролетных строений мостов следует учитывать карчеход. В этих условиях русловые пролеты деревянных мостов на ширине разлива должны иметь длины не менее 15 м. Таким образом, задача проектирования пролетных строений длиной 15 и более метров под современные нагрузки становится актуальной.

Из применяемых ранее конструктивно-технологических форм пролетных строений пригодными для дальнейшего применения и совершенствования в современных условиях можно считать дощато-нагельно-гвоздевые и клееные конструкции. Что касается опор, то капитальные конструкции пролетных строений с обеспеченной долговечностью 50 лет отрицают возможность применения незащищенных от льда, карчехода и гнили деревянных опор, а требуют устройства опор капитального типа.

Ранее полученный опыт проектирования и строительства деревянных мостов свидетельствует о широком применении простых балочных систем, несущими элементами которых служат бревенчатые (брусчатые) прогоны [1]. Анализ известных типовых проектов указывает на ограничения в применении разбросных и сосредоточенных прогонов под временные нагрузки, превышающие Н-10 и НГ-60. При этом применение составных (2-х, 3-х ярусных) прогонов на пластинчатых нагелях позволяет перекрывать пролеты, превышающие стандартные длины бревен 8,5 м. Так, в типовом проекте Киевского филиала ГПИ СОЮЗДОРПРОЕКТ 1967 г. балочное пролетное строение пролетом 9,0 м предусматривало использование круглого леса по специальному заказу. Дальнейшее увеличение длины пролетов требовало при формировании многоярусных прогонов стыкования бревен (брусьев) между собой как по длине, так и по высоте. Очевидно, убедившись, что возможности применения бревенчатых прогонов на пластинчатых нагелях при увеличении пролетов и нагрузок исчерпаны, авторы проекта свои намерения связали с применением дощато-гвоздевых конструкций.

1. Впервые пролетные строения с составными прогонами из бревен под современные нагрузки А-11 и НК-80 были применены на мосту через реку Ушайра в 2004 г. и на мосту через реку Нягов в 2005 г. на севере Омской области [2,3]. На мосту через реку Ушайра были опробованы пролетные строения длиной 8,0 м с проезжей частью из брусчатой деревоплиты [Свидетельство на полезную модель № 29938. Пролетное строение с составными прогонами из бревен./ Патентообладатель ООО Проектно-исследовательская фирма «ПИК».- 10.06.2003] с покрытием из железобетонных дорожных плит, а на мосту через реку Нягов – пролетные строения с составными прогонами из бревен длиной 15,0 м с монолитной железобетонной плитой, включенной в совместную работу с прогонами [Патент на полезную модель № 35636 РФ. Пролетное строение с составными прогонами из бревен и железобетонной плитой./ Патентообладатель ООО Проектно-исследовательская фирма «ПИК».- 27.01.2004]. Отличительной чертой этих конструкций является применение в швах

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

между ярусами соединений из стальных пластин с глухими цилиндрическими нагелями. Результаты испытаний опытных конструкций временной нагрузкой указали на соответствие теоретически вычисленных и фактически замеренных напряжений и деформаций в характерных сечениях и на пригодность пролетных строений к эксплуатации на действие установленных нагрузок.

Применение составных прогонов с описанными в [3] связями сдвига на опытном мосту показало высокую эффективность их при изготовлении, связанную с упрощением конструкции, процессов объединения и обеспечения совместной работы отдельных элементов между собой.

В нашей стране накоплен большой опыт в области исследования сквозных нагельных соединений. Значительный вклад в расчет нагеля внесли работы Б.Л. Николаи [4],В.М. Коченова [5],В.Ф. Иванова [6] и др.

В результате для определения несущей способности нагеля на срез предложены формулы, исходя из условия изгиба самого нагеля, смятия древесины в крайних и средних волокнах, вошедшие в [СП 64.13330.2011 – Деревянные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-25-80)].

В настоящей работе сквозные цилиндрические нагели со стальными накладками применяются для стыкования бревен по длине пролета.

Результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния двухсрезного симметричного нагельного соединения приводятся в работах В.А. Жилкина [7,8]. Получены новые приближенные аналитические соотношения в зонах контакта нагеля и древесины, предложена уточненная расчетная схема нагеля, которые в данной работе не используются.

Стальные пластины с односторонними защемленными в них глухими цилиндрическими нагелями (далее «гребенчатые пластины») устанавливаются нагелями «на клею» в подготовленные на окантованной стороне бревна отверстия и после совмещения сопрягаемых пластин при составлении прогонов и постановки стяжных болтов попарно объединяются сваркой вступающих кромок (рисунок 1).

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Особенность работы гребенчатых пластин состоит в защемлении цилиндрических нагелей в стальной пластине. Жесткость защемления нагеля зависит от толщины пластины,

Рисунок 1 – Прогон, установленный на опору моста

Figure 1 – Girder mounted on the bridge support

диаметра нагеля и плотности заделки нагеля в отверстии пластины.

В нашем случае предусматривается обварка торца нагеля в отверстии пластины, что позволяет сопоставить этот способ защемления нагеля в пластине с жесткой заделкой верхней части стержня нагеля в монолитной железобетонной плите деревожелезобетонных пролетных строений с кле- еными балками.

Учитывая, что свободные концы защемленных в гребенчатых пластинах нагелей вставлены аналогично закреплению стержневых нагелей в верхнем поясе клееных балок «на клею» в отверстия бревенчатых прогонов, работа гребенчатых нагельных соединений в составном прогоне рассмотрена в соответствии с работой цилиндрических нагелей в деревожелезобетонных балках пролетных строений [9–11]. Схема работы цилиндрического нагеля в гребенчатом соединении сопрягаемых элементов составного прогона показана на рисунке 2.

В основу указанных теоретических исследований [10–11] положены следующие допущения:

1) Несущая способность нагельных соединений со стальными цилиндрическими нагелями может быть обеспечена при условии соблюдения норм их расстановки.

2) За предельное состояние принимается состояние, когда напряжение смятия под нагелем в гнезде древесины по всей длине достигает предела прочности при смятии или, когда несущая способность изгибу нагеля исчерпывается полностью с образованием шарнира пластичности в корне консоли по контактному слою.

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

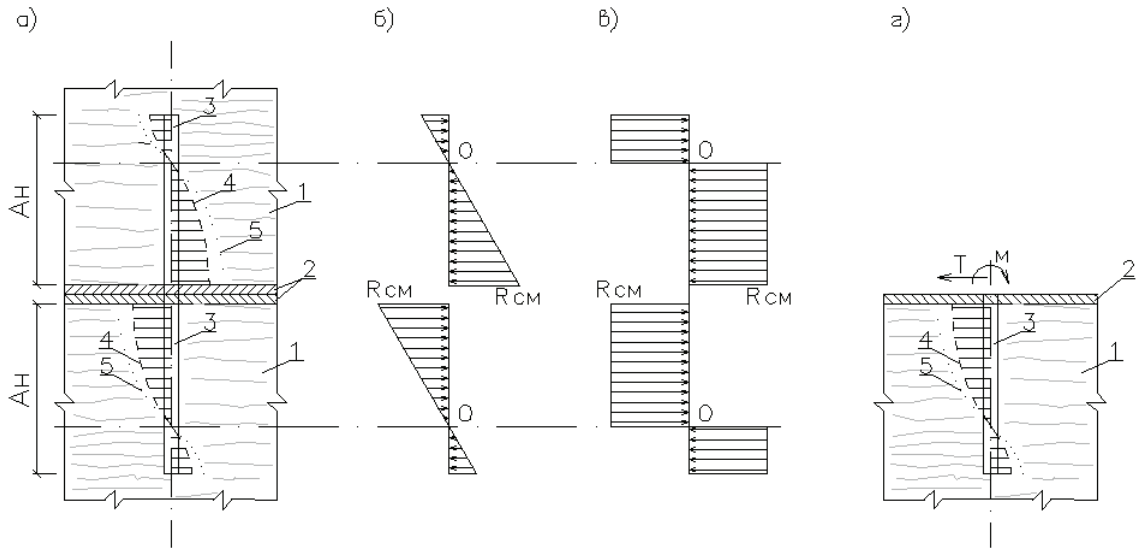


Рисунок 2 – Схема работы цилиндрического нагеля в гребенчатом соединении сопрягаемых элементов составного прогона:
а) деформация смятия древесины в отверстии; б) эпюры напряжений смятия древесины в нагельном гнезде в упругой стадии; в) тоже в предельной стадии; г) условия равновесия нагеля в гнезде.
1 – древесина элементов прогона; 2 – стальная пластина; 3 – стальной цилиндрический нагель;
4 – эпюра смятия гнезда в упругой стадии;5 – тоже в предельной стадии

Figure 2 – Scheme of cylindrical dowel in a comb-like connection of the mating elements of the composite girder:
a) shear deformation of wood in the hole; b) stress plot of shear wood pin in the slot in the elastic stage;
c) the same in the final stage; g) the conditions of equilibrium of dowel in a socket.
1 – wood elements; 2 – steel plate; 3 – steel cylindrical dowel;
4 – diagram of crushing the socket in the elastic stage;5 – the same in the limit stage

3) Распределение напряжений в древесине вдоль нагеля (гнезда нагеля) условно принято в виде эпюры из прямоугольников, упруго-изгибаемая ось нагеля прямолинейна, заделка нагеля жесткая.

4) Поперечные силы, силы трения по контактному слою и моменты, стремящиеся оторвать продольные элементы составных балок друг от друга, не учитываются.

5) Предельное значение величины несущей способности нагельного соединения по смятию ограничено предельными деформациями смещения в уровне контактного слоя соединяемых элементов – 0,1 см.

На основании экспериментальных исследований В.И. Кулиша расчетная несущая способность цилиндрического нагеля, защемленного верхним концом в железобетонной плите, а нижним в древесине клееной балки при условии ограничения взаимного сдвига величиной 0,1 см определяется следующим выражением (в кГ/см²):

$$[T_H] = 90 \cdot a_H \cdot d_H. \quad (1)$$

где a_H –глубина заделки нагеля;

d_H – диаметр нагеля.

В работе П.А. Дмитриева [12], посвященной исследованиям прочности древесины на смятие в нагельном гнезде при длительном действии нагрузки, получены расчетные сопротивления для сосны при деформациях смятия близких к предельным 0,1 см.

Приведенные сопоставимые результаты двух исследований позволяют считать формулу (1) приемлемой для определения несущей способности глухих цилиндрических нагелей в гребенчатых соединениях.

Среди других работ, посвященных нагельным соединениям железобетонной плиты и клееных балок с глухими цилиндрическими нагелями, следует отметить следующие работы:

В работе [13] отмечается существенное увеличение несущей способности соединений на вклеенных нагелях, а в работе [14] предпочтение отдается комбинированному соединению из нарезанных в клеевой балке уступов и вклеенных стержней с головками.

В работе [15] рассматриваются способы анкеровки стержней периодического профиля цементным раствором, проводимые в НИИЖБ(е), и способы анкеровки стержней глад-

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

кого и периодического профиля в Харьковском Промстройпроект(е), приводятся рекомендации по их применению.

В работах финских исследователей [16–17] приводятся результаты испытаний на сдвиг различных нагельных соединений, предназначенных для объединения железобетонной плиты и клееных балок. Все испытанные типы соединений могут быть применены в составных мостовых конструкциях.

Большой объем работ по исследованию деревожелезобетонных пролетных строений с балками из клееной древесины выполнен в последнее десятилетие В.П. Стуковым. Содержание его работ опубликовано в двух монографиях и многочисленных публикациях.

В монографиях [18–19] отражен печальный опыт внедрения деревожелезобетонных пролетных строений в условиях Архангельской области, где лес – основное богатство, а лесопромышленный комплекс занимает 40% экономики региона. Несмотря на актуальность данного направления для мостостроения результаты внедрения эффективных мостовых конструкций остались в прошлом и развития не получили.

Вместе с тем в указанных работах на высоком научно-техническом уровне представлены теоретические основы расчета нагельных соединений, теория расчета деревожелезобетонных балок как составных балок с упругоподатливыми связями между ветвями, солидные экспериментальные исследования. В разделах, посвященных исследованию жесткости нагельных соединений с различными диаметрами и шагом расстановки, приводятся результаты сравнения жесткости нагельных соединений по методу автора и по методу В.И. Кулиша, которые указывают на возможность применения выражения (1). В конечном итоге принятые ранее в работах В.И. Кулиша допущения и рекомендации по несущей способности, жесткости нагельных соединений нашли в работах Стукова В.П. подтверждение.

Следует особо отметить также работы П.Н. Смирнова [20–21], посвященные исследованию торцевых нагельных соединений деревянных конструкций, позволяющих оценить несущую способность защемленного в стальной пластине нагеля поперек волокна.

Цель данной работы – на основе совершенствования конструкций балочных пролетных строений с составными прогонами под нагрузки Н-10 и НГ-60 разработать конструкции капитальных пролетных строений длинной 12–15 м под современные автомобильные и колесные нагрузки А-11 и Н-11.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать предложения по совершенствованию конструкции пролетного строения с составными прогонами из бревен для пролетов 12 – 15 м под современные нагрузки.
2. Разработать методику расчета пролетных строений с составными прогонами из бревен посредством включения их в совместную работу соединениями из стальных накладок и глухих цилиндрических нагелей. Исследуемая конструкция пролетного строения с исходными данными для расчета приведена на рисунке 3.

Основой для разработки методики расчета пролетных строений с составными прогонами из бревен принята теория составных стержней Р.А. Ржаницина [22], согласно которой составляющие стержни соединяются между собой непрерывно распределенными по длине стержней абсолютно жесткими поперечными и упруго податливыми продольными связями. Автор допускает равномерное размещение по длине отдельных стержней наряду с равномерно распределенными сосредоточенными связями, что позволяет ему выразить взаимодействие составляющих стержней одним дифференциальным уравнением.

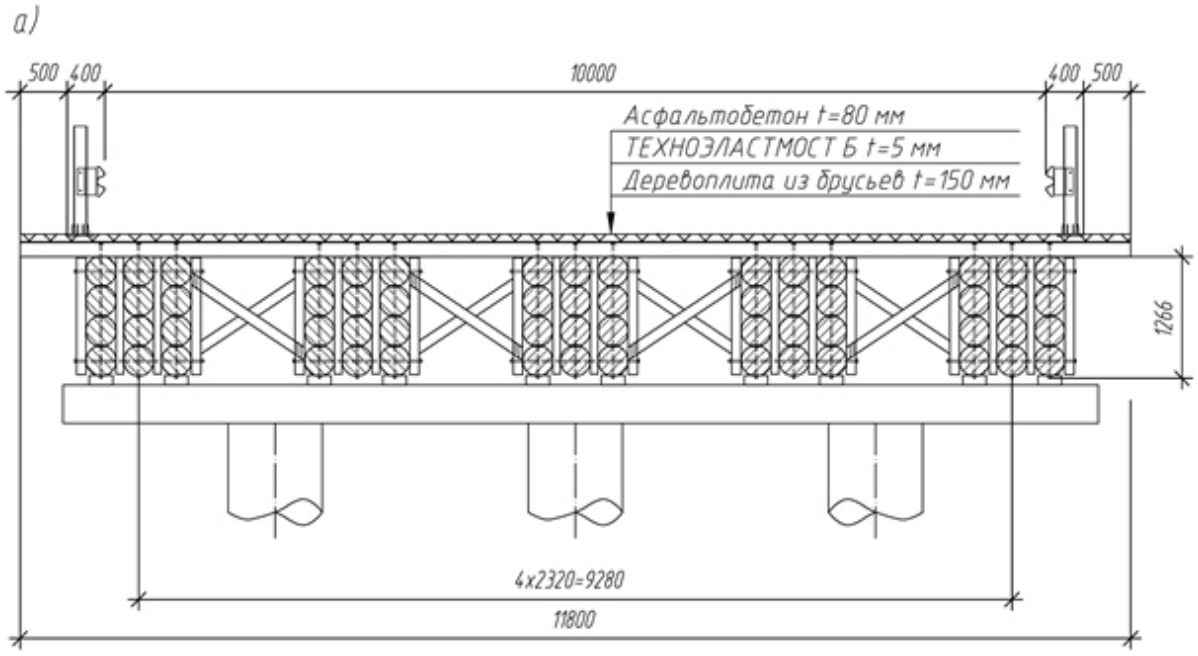
Так как для соединения составляющих составной прогон бревен применены сосредоточенные гребенчатые соединения (связи сдвига) различной мощности, то определение неизвестных усилий в связях сдвига по методу сил сводится к решению системы линейных уравнений, составленных из условий ограничения предельных сдвигов величиной 0,1 см.

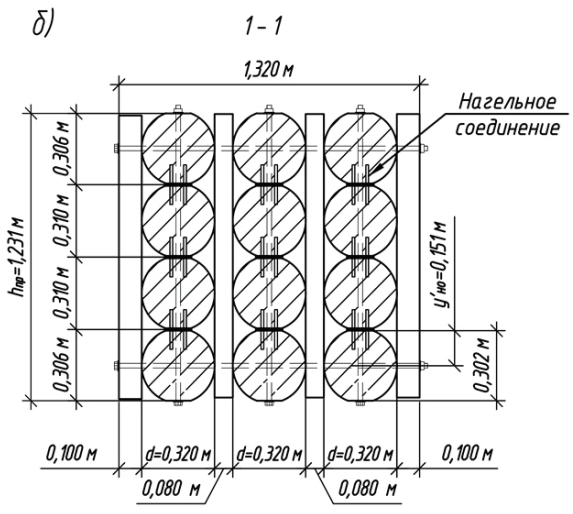
Этот метод был применен для расчета составного прогона пролетного строения с бревнами стандартной длины (7,5 м) в составе восьми прогонов из трех бревен [23]. Результаты расчета позволили получить более четкое представление о напряженно-деформированном состоянии каждого элемента составного прогона.

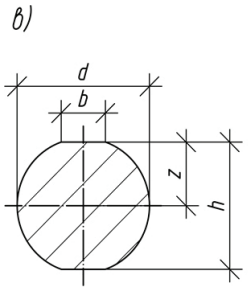
Исследуемая конструкция пролетного строения с исходными данными для расчета приведена на рисунке 3.

Основная система составного прогона длиной 15 м (из трех рядов по четыре бревна в ряду) с сосредоточенными связями сдвига приведена на рисунке 4,а в осевых линиях – на рисунке 4,б. На рисунке показана только левая часть основной системы. С учетом симметрии конструкции правая часть системы зеркально симметрична левой, включая направления неизвестных усилий в связях сдвига.

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal







Геометрические характеристики
а) бревна
d=0,320 м
b=0,0107 м
A=0,0791 м^2
J=0,000484 м^4
z=0,1508 м
h=0,302 м
б) верхнего ряда (одной ветви)
$A_з$=3·0,0791 м^2=0.2373м^2
$J_з$=3·0.000484 м^4=0.00145 м^4

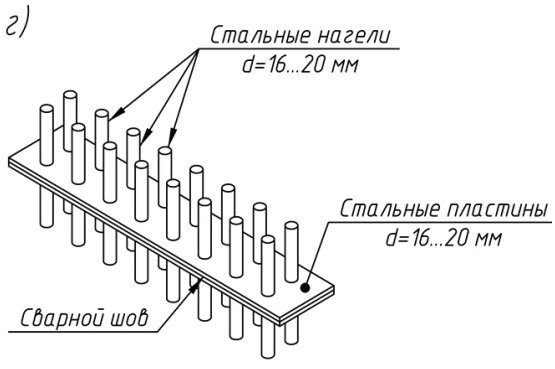


Рисунок 3 – Поперечное сечение пролетного строения длиной 15 м:
а) общий вид; б) конструкция прогона;
в) геометрические характеристики бревна;
г) конструкция нагельных соединений

Figure 3 – Cross-section of the structure with a length of 15 m:
a) general view; b) construction of the girder;
c) geometric characteristics of the log;
d) design of the dowel connections

Общая жесткость на изгиб составного прогона, лишенного связей сдвига, равна сумме жесткостей составляющих стержней (бревен):

$$\sum_{i=1}^{n+1} E_i J_i = \sum EJ. \qquad (2)$$

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

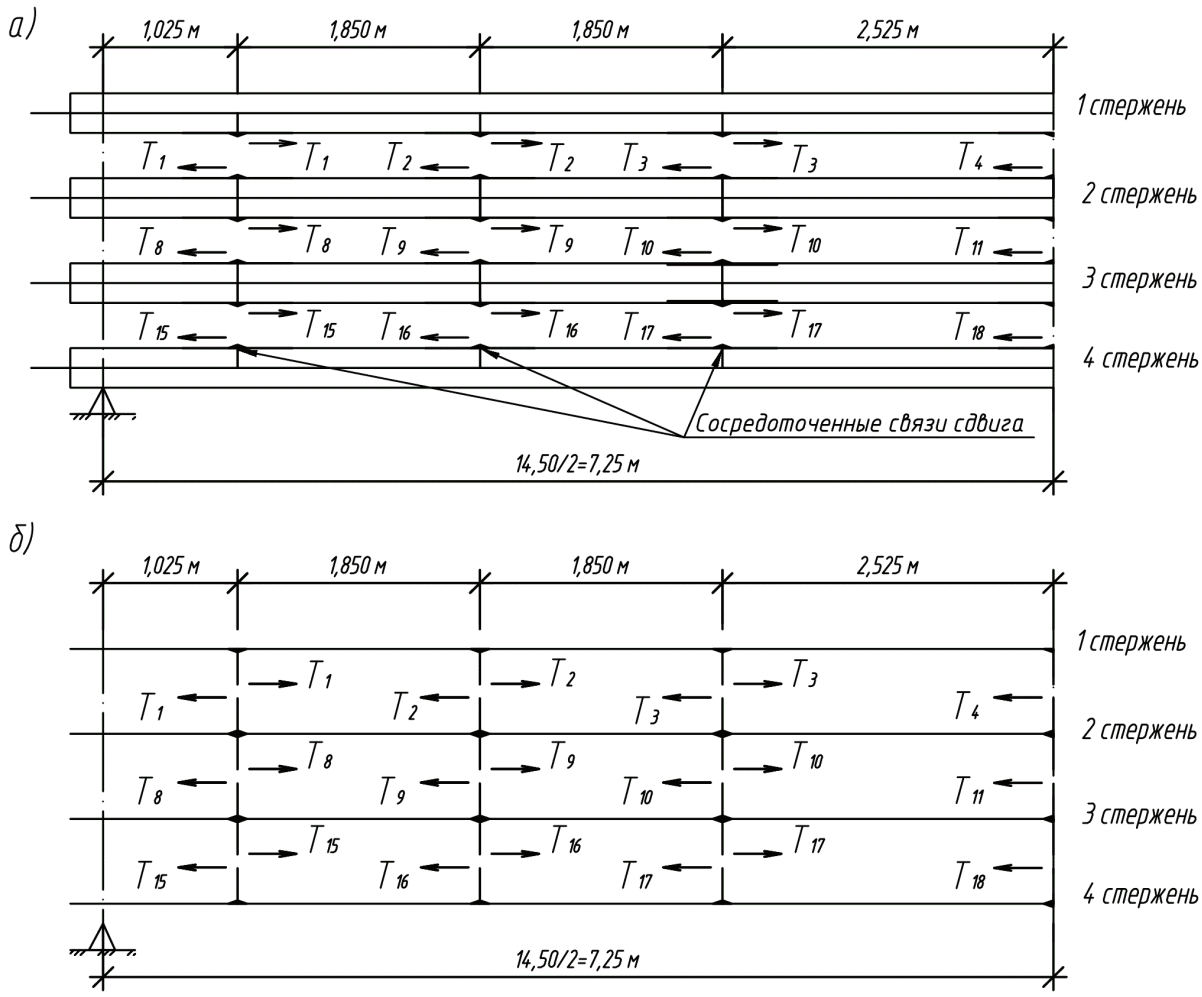


Рисунок 4 – Основная система составного прогона с сосредоточенными связями сдвига
а) из отдельных совместно изгибаемых бревен;
б) приведенная к осевым линиям

Figure 4 – Basic system of composite run with concentrated shear bonds
a) in the individual co-bendable logs;
b) led to axial lines

Систему линейных уравнений эквивалентности основной и заданной систем представлена в матричной форме:

$$A\vec{T}+\vec{\Delta}_F+\vec{\Delta}_\Delta = 0, \qquad (3)$$

где A – матрица коэффициентов канонических уравнений, $\vec{T}$ – вектор неизвестных усилий сдвига, $\vec{\Delta}_F$ – вектор грузовых перемещений, $\vec{\Delta}_\Delta$ –вектор одинаковых перемещений, равных 0,1 см.

Усилия в связях сдвига вызывают моменты и продольные силы в составляющих стержнях. Полный изгибающий момент в системе будет равен сумме изгибающих моментов в сечениях каждого составляющего стержня основной системы от внешней нагрузки плюс сумма моментов от усилий в связях сдвига:

$$M = M_0 + \sum_{i=1}^{n+1} M_i^T, \qquad (4)$$

где n – число швов в составном прогоне.

Расчет элементов деревянных конструкций мостов по прочности и устойчивости на сжатие с изгибом (п. 10.30-10.31 [СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1)]) производится по формуле

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

$$\frac{N_d}{A_{nt}}+\frac{M_d}{W_{nt}}\cdot\frac{R_{ds}}{R_{db}}\le R_{ds}, \qquad (5)$$

при этом в составных прогонах внецентренно сжатых элементах на прокладках расчет по устойчивости наиболее напряженной ветви при ее расчетной длине, превышающей в семь раз толщину ветви, следует производить, исходя из условия

$$\frac{N_d}{A_{br}}+\frac{M_d}{\xi\cdot W_{br}}\cdot\frac{R_{ds}}{R_{db}}\le \varphi\cdot R_{ds}, \qquad (6)$$

в которых N_d и M_d – расчетные значения усилий, R_{ds} и R_{db} – расчетные сопротивления, A_{nt} и A_{br} –- площади поперечного сечения (нетто и брутто), W_{nt} и W_{br} – моменты сопротивления (соответственно), φ – коэффициент понижения несущей способности для отдельной ветви (по п.10.29 [СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1)]).

Коэффициент ξ, учитывающий влияние дополнительного момента от нормальной силы N_d ,определяется по формуле

$$\xi=1-\frac{\lambda^2}{3000}\cdot\frac{N_d}{R_{ds}\cdot A_{br}}. \qquad (7)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера выполнен расчет составного прогона пролетного строения длиной 15 м из пяти трехрядных прогонов по четыре бревна в ряду диаметром 30 см. Отброшенные связи в швах между бревнами заменены парными неизвестными усилиями сдвига T_i (рисунок 4б). Расстояние между центрами связей принято равным 1,85 м, от опорного сечения до крайних связей с каждой стороны –-1,025 м, в середине пролета на участке 5,05 м связи сдвига отсутствуют. Таким образом, в составном прогоне содержится 18 сосредоточенных связей сдвига, а система уравнений метода сил (3) –-18 неизвестных усилий T_i .

Для определения неизвестных метода сил были построены эпюры единичных и грузовых моментов в основной системе прогона, определены коэффициенты и свободные члены системы уравнений. Но в связи с ограниченными объемами статьи эти данные в статье не приведены.

В результате решения системы уравнений (3) получены следующие значения неизвестных усилий сдвига T_i :

$$T_1=T_6=T_7=T_{12}=T_{13}=T_{18}=810 \text{ кН},$$
$$T_2=T_5=T_8=T_{12}=T_{14}=T_{17}=580 \text{ кН},$$
$$T_3=T_4=T_9=T_{10}=T_{15}=T_{16}=445 \text{ кН}.$$

В итоге с учетом выражения (4) построены эпюры расчетных изгибающих моментов и продольных сил в составляющих составной прогон стержнях-бревнах (рисунок 5).

В составных внецентренно сжатых элементах первого и третьего рядов из трех бревен нормальные напряжения в сечении 1–1 могут быть определены по формуле (5):

$$\sigma_н=\frac{712}{3\cdot 0,0792\cdot 1000}+\frac{44}{3\cdot 0,0092\cdot 1000}\cdot$$

$$\cdot\frac{14,7}{15,7}=3,01+4,29=$$

$$=7,30 \text{ МПа} \le 15,7 \text{ МПа}.$$

В составных внецентренно-сжатых наиболее напряженных ветвях первого и третьего рядов бревен (в сечении 2–-2), где длина ветви l_0=2,525 м превышает $l_{0,д}$=7·h_0=7·0,301 7=2,11 м, нормальные напряжения определяются по формуле (6), где

$$r=0,25\cdot d=0,25\cdot 32=8 \text{ см};$$

$$\lambda=\frac{l_0}{r}=\frac{252,5}{8}=31,5<70;$$

$$\xi=1-\frac{\lambda^2}{3000}\cdot\frac{N_d}{R_{ds}A_{br}}=\frac{31,5^2}{3000}\cdot\frac{157700}{147\cdot 791}=0,53;$$

$$\varphi=1-0,8\cdot\left(\frac{\lambda}{100}\right)^2=1-0,8\cdot\left(\frac{31,5}{100}\right)^2=0,92.$$

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В результате

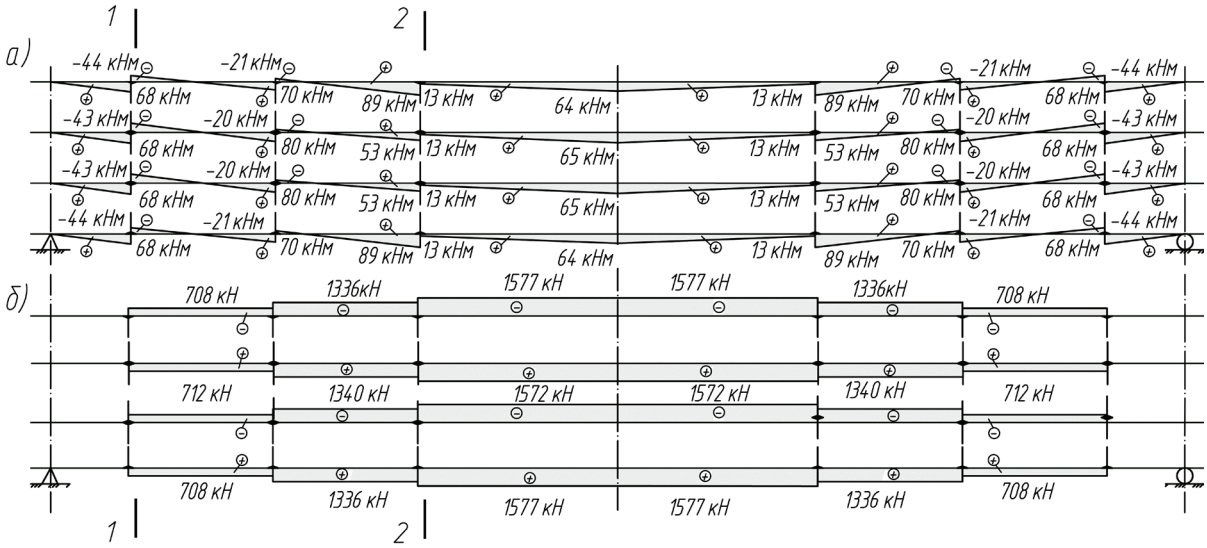


Рисунок 5 – Эпюры расчетных усилий в составном прогоне: а) изгибающих моментов; б) продольных сил

Figure 5 – Diagrams of the calculated forces in the composite girder: a) bending moments; b) longitudinal forces

$$\sigma_в = \frac{1577}{3\cdot 0,0792\cdot 1000} + \frac{64}{0,53\cdot 3\cdot 0,0092\cdot 1000}\cdot\frac{14,7}{15,7} = 6,645 + 11,759 =$$
$$= 18,4 \text{ МПа} > 0,92\cdot 14,7 = 13,5 \text{ МПа}.$$

Таким образом, расчет составного прогона по устойчивости наиболее напряженной ветви указывает на необходимость корректировки расчетной длины ветви в середине пролета до 7 толщин.

Так, например, при введении в срединную часть прогона вместо одной группы (посередине пролета) двух групп симметричных связей сдвига (рисунок 6), расчетная длина наиболее напряженных ветвей прогона будет 1,85 м, что меньше 7 толщин отдельных окантованных на два канта бревен диаметром 32 см.

После решения системы уравнений с 24 неизвестными усилиями в связях сдвига были построены эпюры расчетных усилий M и N (рисунок 7), на основании которых определены нормальные напряжения в рассмотренных ранее сечениях.

В верхних фибрах первого ряда прогона (сечение 1-1) при $\xi = 0,95$

$$\sigma_в = \frac{820}{3\cdot 0,0792\cdot 1000} + \frac{64}{0,95\cdot 3\cdot 0,0092\cdot 1000}\cdot\frac{14,7}{15,7} = 3,45 + 6,36 =$$
$$= 9,81 \text{ МПа} < 0,92\cdot 14,7 = 13,5 \text{ МПа}.$$

Тоже в сечении 4-4 при $\xi = 0,95$

$$\sigma_в = \frac{2161}{3\cdot 0,0792\cdot 1000} + \frac{29}{0,94\cdot 3\cdot 0,0092\cdot 1000}\cdot\frac{14,7}{15,7} = 9,09 + 3,21 =$$
$$= 12,30 \text{ МПа} < 0,92\cdot 14,7 = 13,5 \text{ МПа}.$$

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

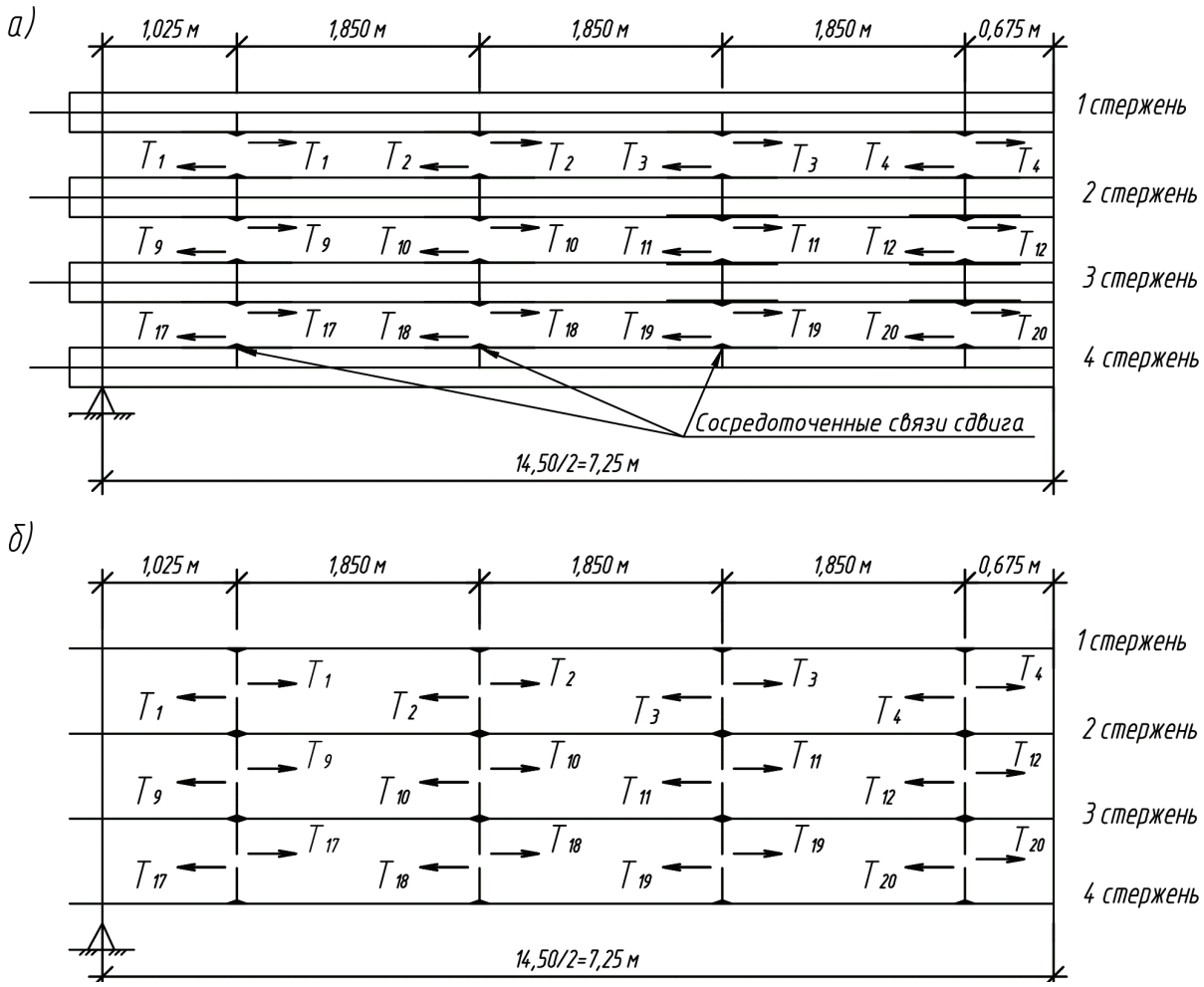


Рисунок 6 – Основная система составного прогона с сосредоточенными связями сдвига а) из отдельных совместно изгибаемых бревен; б) приведенная к осевым линиям

Figure 6 – Basic system of composite girder with concentrated shear bonds a) in the individual co-bendable logs; b) led to axial lines

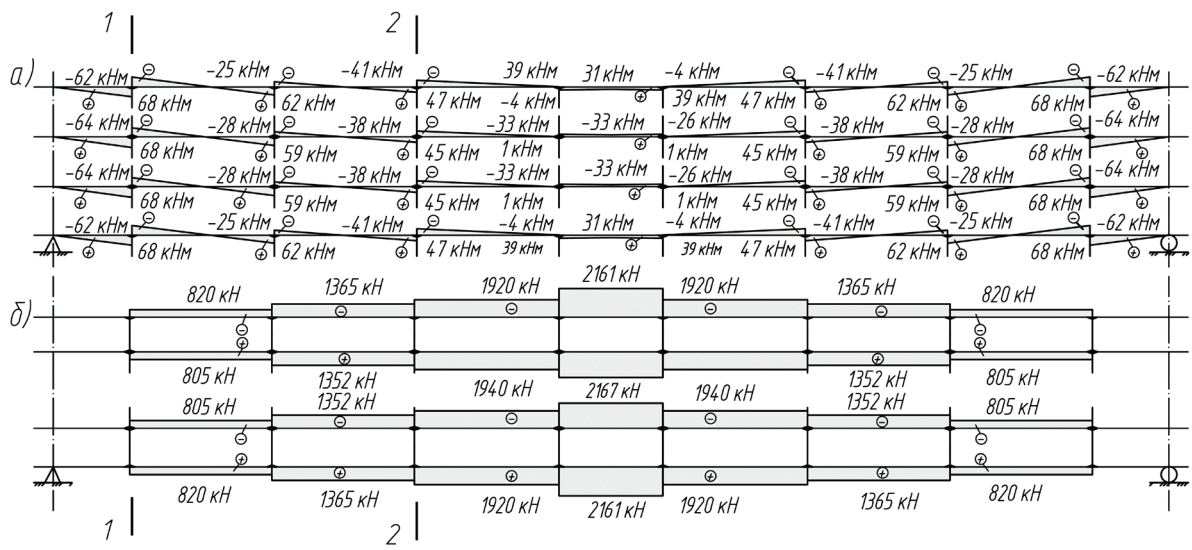


Рисунок 7 – Эпюры расчетных усилий в составном прогоне: а) изгибающих моментов; б) продольных сил

Figure 7 – Diagrams of the calculated forces in the composite girder: a) bending moments; b) longitudinal forces

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проделанной работы следует отметить:

Разработана конструкция пролетных строений мостов под современные нагрузки с составными прогонами из бревен, позволяющая перекрывать пролеты длиной 12 – 15 м.

Основой повышения несущей способности разработанной конструкции является обеспечение совместной работы составляющих несущую конструкцию составного прогона – бревен.

Совместная работа бревен впервые обеспечивается посредством гребенчатых соединительных элементов из цилиндрических нагелей, защемленных сваркой в стальных пластинах.

Предложенный метод соединения и расчета составных прогонов позволяет рационально распределять дискретные связи сдвига в соответствии с приходящимися на них усилиями, что в значительной степени упрощает процесс изготовления составных прогонов, снижает трудозатраты и материалоемкость конструкции.

Предложенная конструкция может быть использована при строительстве мостов на автомобильных дорогах IV-V категории, особенно в лесных районах страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гибшман Е.Е. Проектирование деревянных мостов. 2-е изд. М.: Транспорт, 1976. 272 с.

2. Уткин В.А., Пузиков В.И., Кобзев П.Н. Опыт внедрения новых дощато-гвоздевых пролетных строений в дорожном строительстве Омской области // Сборник «ДОРОГИ И МОСТЫ». М.: Весь Мир, 2008. С. 162–171.

3. Уткин В.А., В.И. Пузиков В.И., Казанцев Б.В., Каретников М.Ю. О применении древесины для строительства мостов // Сборник «ДОРОГИ И МОСТЫ». М.: Издательство «Весь Мир», 2014. С. 127–142.

4. Николаи Б.Л. Теория расчета нагельных сопряжений в деревянных конструкциях. Харьков: ОНТИ, 1935. 65 с.

5. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций. М., 1953. 319 с.

6. Иванов В.Ф. Деревянные конструкции. М.: Стройиздат, 1956. 317 с.

7. Жилкин В.А. Численное исследование деформированного состояния нагельного соединения из древесины сосны // Журнал АПК России. 2014. Т. 70. С. 55–60.

8. Жилкин В.А. Исследование деформированного состояния цилиндрического нагеля в симметричном двухсрезном соединении пластин из древесины // Журнал АПК России. 2015. Т. 71. С. 29–41.

9. Рожко П.П., Кулиш В.И. Исследование несущей способности стальных нагелей в деревобетонных мостах // Труды Хаб. ПИ. 1966. №3. С. 21–26.

10. Кулиш В.И. Исследование работы и расчет на прочность деревожелезобетонных балок // «Строительство железных дорог и эксплуатация пути». Хабаровск: ХабИИЖТ, 1967. С. 120–127.

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

12. Дмитриев П.А. Исследование прочности древесины на смятие в отверстии при кратковременном и длительном действии нагрузки // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1965. №12. С. 165–173.

13. Кормаков Л. И., Валентинавичюс А. Ю. Проектирование клееных деревянных конструкций. Киев: Будільник, 1983. 152 с.

14. Wiio M., Jutila A., Makipuro R, Salokangas L., Wistbaka 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.

15. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве / Шутенко Л.Н., Клименко В.З., Кузнецов Ю.Д., Золотов М.С., Черкасский И.Г., Киев: Будівельник, 1990. 136 с.

16. Haakana P., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, survey of source documents. Exept of the Finnich Report Survey of background information. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1993, no. 2, p. 46.

17. Makipuro R., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, experimental studies of wood-concret shear connections. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994, no. 11, p. 26.

18. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты на автомобильных дорогах. 2-е изд., испр. и доп. изд. Архангельск : 2009. 453 с.

19. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты : состояние, теория, исследование, проектирование. Архангельск : Сев. (Арктич.) федер. ун-т, 2014. 316 с.

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

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

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

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

23. Уткин В. А., Синиговская Н. В. Исследование несущей способности составных прогонов с соединениями на глухих цилиндрических нагелях, защемленных в стальных пластинах // Вестник СибАДИ. 2016. №5 (51). С. 134–145.

REFERENCES

1. Gibshman E.E. *Proektirovanie derevyannyh mostov* [Design of wooden bridges]. Moscow, Transport, 1976. 272 p. (in Russian)

2. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kobzev P.N. *Opyt vnedreniya novyh doshchato-gvozdevyh proletnyh stroenij v dorozhnom stroitel'stve Omskoj oblasti* [Experience in the implementation of new board-and-nail structures in the road construction in Omsk region]. *DOROGI I MOSTY*, 2008, pp. 162-171. (in Russian).

3. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kazantsev B.V., Karetnikov M.YU. *O primenenii drevesiny dlya stroitel'stva mostov* [On the use of wood for bridge construction]. *DOROGI I MOSTY*, 2014, pp. 127-142. (in Russian).

4. Nikolai B.L. *Teoriya rascheta nagel'nyh sopryazhenij v derevyannyh konstruktsiyah* [Theory of calculation of the dowel mates in wooden structures]. Har'kov: ONTI, 1935. 65 p. (in Russian)

5. Kochenov V.M. *Nesushchaya sposobnost' ehlementov i soedinenij derevyannyh konstruktsij* [Bearing capacity of elements and joints of wooden structures]. Moscow, 1953. 319 p. (in Russian)

6. Ivanov V.F. *Derevyannye konstruktsii* [Wooden structure]. Moscow, Strojizdat, 1956. 317 p. (in Russian)

7. ZHilkin V.A. *CHislennoe issledovanie deformirovannogo sostoyaniya nagel'nogo soedineniya iz drevesiny sosny* [Numerical investigation of the strain state of the pin connections from pine wood]. *ZHurnal APK Rossii*, 2014. Vol. 70. Pp. 55-60. (in Russian)

8. ZHilkin V.A. *Issledovanie deformirovannogo sostoyaniya tsilindricheskogo nagelya v simmetrichnom dvuhsreznom soedinenii plastin iz drevesiny* [Investigation of the strained state of a cylindrical pin in a symmetrical double-shear connection plates wood]. *ZHurnal APK Rossii*, 2015, Vol. 71, pp. 29-41. (in Russian)

9. Rozhko P.P., Kulish V.I. *Issledovanie nesushchej sposobnosti stal'nyh nagelej v derevobetonnyh mostah* [Research of the bearing capacity of the steel pins in wooden concrete bridges]. *Trudy Hab. PI,* 1966, no. 3, pp. 21-26. (in Russian)

10. Kulish V.I. *Issledovanie raboty i raschet na prochnost' derevozhelezobetonnyh balok* [Research of work and strength calculation of wood-concrete beams]. *Stroitel'stvo zheleznyh dorog i ehkspluataciya puti,* 1967, pp. 120-127. (in Russian).

11. Kulish V.M. *Kleenye derevyannye mosty s zhelezobetonno plitoj* [Glued wooden bridges with reinforced concrete slab]. Moscow, Transport, 1979. 160 p. (in Russian)

12. Dmitriev P.A. *Issledovanie prochnosti drevesiny na smyatie v otverstii pri kratkovremennom i dlitel'nom dejstvii nagruzki* [Research of the wood strength to crumple in the hole at short-term and long-term load]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*,1965, no. 12, pp. 165-173. (in Russian).

13. Kormakov L.I., Valentinavichyus A. YU. *Proektirovanie kleenyh derevyannyh konstrukcij* [Design of glue wooden structures]. Kiev, Budil'nik, 1983. 152 p. (in Russian)

14. Wiio M., Jutila A.,. Makipuro R, Salokangas L., Wistbaka J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concrete composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994, no.7, p. 14.

15. Kleevye soedineniya drevesiny i betona v stroitel'stve [Adhesive joints of wood and concrete in construction]. SHutenko L.N., Klimenko V.Z., Kuznecov YU.D., Zolotov M.S., CHerkasskij I.G., Kiev, Budil'nik, 1990. 136 p. (in Russian)

16. Haakana P., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, survey of source documents. Exept of the Finnich Report Survey of background information. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1993, no. 2, p. 46.

17. Makipuro R., Jutila A., Rautakorpi H., Salokangas L. Research project development of wood bridges, experimental studies of wood-concret shear connections. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994, no. 11, p. 26.

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

18. Stukov V.P. *Derevozhelezobetonnye balochnye mosty na avtomobil'nyh dorogah* [Wood-reinforced concrete beam bridges on roads]. Arhangel'sk, 2009. 453 p. (in Russian)

19. Stukov V.P. *Derevozhelezobetonnye balochnye mosty: sostoyanie, teoriya, issledovanie, proektirovanie* [Wood-concrete beam bridges: state, theory, research, design]. Arhangel'sk, 2014. 316 p. (in Russian)

20. Smirnov P.N. Sravnenie metodik rascheta nagel'nyh soedinenij derevyannyh konstrukcij. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt [Comparison of methods of calculation dowel joints of wooden structures. Domestic and foreign experience]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*, 2013, no. 6. pp. 68-72. (in Russian).

21. Smirnov P.N. *Osobennosti raboty nagel'nyh soedinenij so stal'nymi nakladkami i prokladkami. Metodika rascheta* [Features the work of pin joints with steel plates and gaskets. Method of calculation]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*, 2015, no. 2. pp. 19-25. (in Russian).

22. Rzhanicyn A.R. *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1982. 400 p. (in Russian)

23. Utkin V.A., Sinigovskaya N.V. *Issledovanie nesushchej sposobnosti sostavnyh progonov s soedineniyami na gluhih cilindricheskih nagelyah, zashchemlennyh v stal'nyh plastinah* [Research of bearing capacity of composite girders with connections to the deaf cylindrical pins, clamped in steel plates]. *Vestnik SibADI*, 2016, no 5(51), pp. 134-145 (in Russian).

Поступила 17.07.2018, принята к публикации 19.10.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

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).

Кобзев Павел Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0003-0947-6227 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kpn_omsk@mail.ru).

Шатунова Елена Геннадьевна – магистрант, ИМА, СМ17-МА8 ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0001-9129-7898 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: lena.25.95@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Utkin Vladimir Alexandrovich – Doctor of Technical Science, Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID ID 0000-0002-2044-3242 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Kobzev Pavel Nikolaevich – Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID ID 0000-0003-0947-6227 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: kpn_omsk@mail.ru).

Shatunova Elena Gennadievna – Master, IMA, SM17-MA8, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID ID 0000-0001-9129-7898 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: lena.25.95@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

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

Кобзев П.Н. Анализ источников, редактирование статьи.

Шатунова Е.Г. Расчет составных прогонов длиной 15 м. Оформление статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

Utkin V.A. Aim formulation, research method, calculation algorithm.

Kobzev P.N. Source analysis, article editing.

Shatunova E.G. Calculation of composite girder with a length of 15 m, article composing.

© 2004–2018 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal