



УДК 699.844

А. С. ТОРОПОВ^{1,2}, доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; **Д. М. ЛОБОВ¹**, канд. техн. наук, доц. кафедры железобетонных, каменных и деревянных конструкций; **С. В. КЛЮЕВ²**, д-р техн. наук, проф.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ДЕРЕВОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ (ОБЗОР)

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (904) 791-31-73; эл. почта: togorov700@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тел.: (4722) 54-20-87; эл. почта: Klyuev@yandex.ru

Ключевые слова: деревобетонные композитные системы (ТСС), механические связи, гвоздь, древесина, бетон.

Представлен анализ развития конструктивных решений деревобетонных конструкций за рубежом и в нашей стране. Показаны основные виды механических связей и рекомендации по их применению в отечественной практике. Показаны особенности конструктивных решений, не учитываемые в рамках существующих методов расчета.

Введение

Деревобетон представляет собой конструктивное соединение двух материалов, характеризующихся различными механическими свойствами. Идея совместного использования дерева и бетона в конструкциях, где растягивающие усилия воспринимаются древесиной, а сжимающие бетоном, возникла в конце 19 века. Первый патент на деревобетон был заявлен в Швейцарии в 1896 году. Здесь был зафиксирован первый случай применения дерева в качестве арматуры в бетонных конструкциях [1].

В 1912 году в Бригтоновском институте Лондона инженером Р. Кайзе были проведены опыты над деревобетонными балками с размерами 11,5х11,5х140 см, в качестве арматуры были использованы четыре деревянных бруска с размерами 19х19 мм. Эти опыты показали, что деревобетонные конструкции имеют существенные преимущества по сравнению с бетонными [1].

Аналогичные опыты были проведены в Италии инженерами В. Рикардини и П. Вискардини [2]. В результате этих опытов установлено, что дерево может быть применено в бетоне в качестве арматуры, так как хорошо сцепляется с бетоном и не разбухает при применении в достаточно сыром виде. В. Рикардини отмечает, что нестроганая древесина хорошо сцепляется с бетоном, благодаря прониканию цементного раствора в поры древесины, в результате чего образуется контактный слой, препятствующий отделению дерева от бетона. Наиболее широкомасштабные и подробные исследования деревобетона были проведены в Советском союзе проф. Н. А. Кириенко, инж. М. А. Киеня, проф. Н. И. Петровым



и инж. Г. С. Пушкиным, доц. Г. Д. Цискрелли. Профессор И. А. Кириенко [3] проводил экспериментальные исследования деревобетонной балки с размерами 230x28x15 см. Сравнение результатов исследований проф. И. А. Кириенко с результатами инж. В. Рикардини показывает, что в опытах проф. И. А. Кириенко напряжения в древесине в три раза больше, а разрушение балки произошло по сжатой зоне бетона.

Исследованиями инженера М. А. Киеня [4] установлено, что устройство деревянных хомутов нецелесообразно, поскольку значительное количество (около 30 %) балок разрушилось по деревянным хомутам.

Исследованиями доц. Г. Д. Цискрелли [5] установлено, что прочность деревобетонных балок в 3–3,5 раза больше, чем аналогичных бетонных балок. Пролеты деревобетонных балок больше, чем аналогичных железобетонных балок при одинаковых размерах поперечного сечения и площади арматуры.

Проф. Н. И. Петровым и инж. Г. С. Пушкиным [6] проведены экспериментальные исследования деревобетонных балок с размерами 1400x210x150 мм.

Результаты испытаний, показывают, что с повышением прочности бетона увеличивается несущая способность деревобетонных балок. Установлено также, что разрушающая нагрузка для неармированных бетонных балок совпадает с нагрузкой трещинообразования деревобетонных балок. Несмотря на достаточно большое количество исследований эти конструкции не получили широкого распространения вследствие ряда существенных недостатков.

Во-первых, сложные реологические свойства древесины, неоднородность ее структуры не позволяют рассматривать условия деформирования деревянной арматуры аналогично – стальной арматуры.

Во-вторых, совместная работа бетона и деревянной арматуры в большей степени определяется влажностью самой древесины, а также влажностью окружающей среды. Процесс усушки нарушает надежное сцепление между бетоном и арматурой.

В-третьих, объем и масса деревобетонных балок существенно увеличивается по сравнению с железобетонными балками при одинаковой несущей способности.

Анализ конструктивных решений деревобетонных конструкций с помощью механических связей

Дальнейшее развитие деревобетонные конструкции получают на основе новых принципов конструирования во Франции. Инженер Ж. Шоде [7] предложил осуществить сцепление железобетонной плиты с деревянной балкой для их совместной работы, с помощью стальных гвоздей, вбиваемых в деревянную балку и являющихся таким образом продольными элементами связи. По этому же принципу в 1930 году на одной из построек в Филях было изготовлено несколько ребристых плит и проведены экспериментальные исследования [8]. Были изготовлены две серии плит (рис. 1). В плитах первой серии по низу несущих брусьев подвешивались или штукатурная дрань или металлическая сетка, по которым выполнялась штукатурка. Пространство между балками заполняли шлаком. В плитах второй серии по нижней грани брусьев не выполняли обшивки. Опытные деревожелезобетонные ребристые плиты разрушились по несущим деревянным балкам при значениях изгибающего момента $M=10075$ кгс·м после достижения напряжениями в растянутой грани предела сопротивления древесины на растяжение.

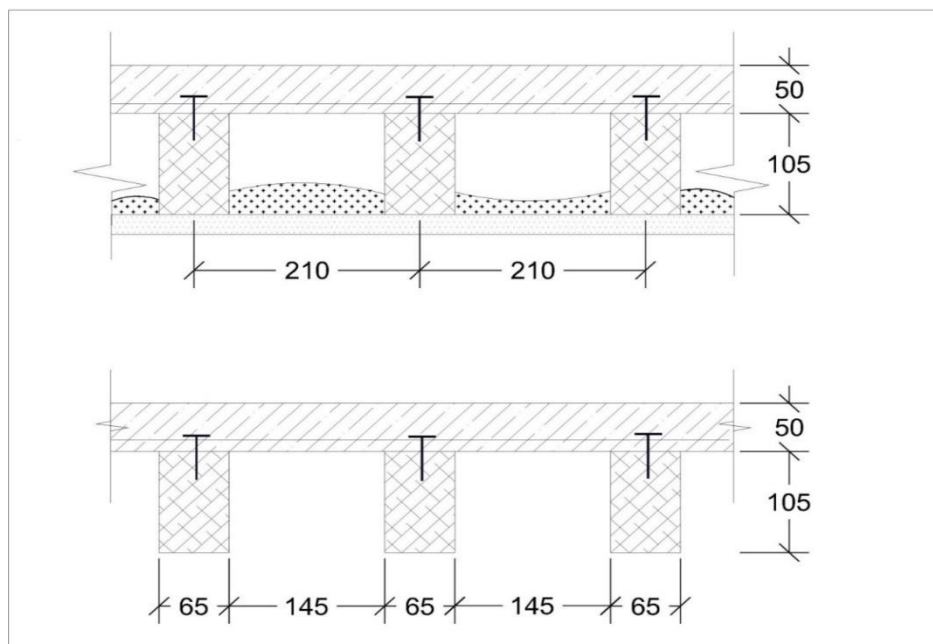


Рис. 1. Схема испытания ребристых плит

В отечественной практике строительства эта конструкция не нашла широкого распространения и оказалась забытой.

Аналитические исследования деревожелезобетонных конструкций проводились в США. Исследования сопряженных конструкций из дерева и бетона были начаты лабораторией университета штата Вашингтон совместно с техническим отделом города Сиэтль (штат Вашингтон) в 1926 году. Результаты этих исследований показывают следующие основные преимущества деревожелезобетонных конструкций: сопротивление сопряженных конструкций почти в два раза превышает сопротивление конструкции при работе элементов порознь; жесткость увеличивается в четыре раза, а бетонная поверхность защищает деревянную часть конструкции от атмосферных воздействий.

Основным и самым серьезным препятствием в развитии деревобетонных конструкций является отсутствие четких рекомендаций по расчету и конструированию соединения бетона и древесины, обеспечивающее надлежащее сопротивление значительным горизонтальным сдвигающим усилиям, имеющим место в плоскости сопряжения материалов.

В опытах Иллинойского университета деревобетонные балки [9] состояли из бетонной плиты, уложенной на сплошной ряд сплоченных деревянных досок. Общая высота балок составляла 305 мм, 290 мм, 366 мм. Ширина балок зависит от количества досок в деревянном основании. Деревянное основание балок состояло: из четырех досок сечением 41,4х200 мм и трех досок сечением 41,4х140 мм. Сплачивание досок между собой производится гвоздями, болтами, нагелями. Гвозди забиваются в шахматном порядке и пробивают две доски целиком, входя на половину третьей доски. Всего было испытано 16 серий балок с различными видами соединения между бетоном и деревянным основанием.

В порядке поисков наиболее экономичной и эффективной конструкции элементов соединения двух материалов применялись стальные детали, закрепляемые в дереве в виде гвоздей, костылей, сплошных и трубчатых нагелей,



болтов и т. д., причем эти элементы закреплялись в дереве в вертикальном или наклонном положении. Принятые конструкции элементов соединения обеспечивали совместную работу бетона и древесины в едином сечении.

Разрушение всех деревобетонных балок произошло после достижения растягивающими напряжениями в растянутой зоне деревянных досок предела сопротивления древесины на растяжение или по бетону сжатой зоны плиты после достижения напряжениями в этой зоне предела прочности бетона на сжатие. Установлено также, что фактические прогибы существенно превышали теоретические вследствие проявления деформаций сдвига между бетонной плитой и деревянным основанием.

Аналогичные экспериментальные исследования деревобетонных балок было проведено в лабораториях Орегонского университета США [10].

В результате опытов наилучшие показатели прочности деревобетонных балок были получены при применении треугольных стальных пластин с дополнительными креплениями в виде проволочных штырей, при применении трубчатых штырей, а также при комбинировании штырей с врубками. Разрушение всех деревобетонных балок произошло после достижения растягивающими напряжениями в нижней грани деревянных балок предела сопротивления древесины на растяжение или по бетону полки после достижения напряжениями в этой зоне предела прочности бетона на сжатие.

В США по вышеприведенным технологиям за период 1942–1951 годы было построено 74 деревожелезобетонных моста, порядка 100 портовых сооружений различного назначения [11].

В Чехословакии, начиная с 1958 года, применяется технология усиления деревянных перекрытий реконструируемых зданий с помощью железобетонной плиты, соединяемой с помощью гвоздей с деревянной несущей балкой [11]. После снятия поверхностных слоев и определения технического состояния несущих деревянных элементов, особенно в опорных зонах, в предварительно высверленные отверстия вбиваются гвозди, затем укладывается арматура и из бетона отливается плита. Этим достигается трех-четыrehкратное повышение несущей способности и жесткости несущей конструкции.

Длительный опыт использования этой технологии и постепенное совершенствование всей последовательности операций от проведения исследований и проектирования до контроля выполненной работы полностью опровергли вышеуказанные опасения. Бетонирование не вызвало процесс гниения, напротив, химические составляющие цемента способствовали консервации древесины [11]. Аналогичные конструктивные решения деревожелезобетонных перекрытий по инициативе автора использованы научно-производственной фирмой «Татинвестгражданпроект» при реконструкции здания Министерства финансов Республики Татарстан, здания концертно-филармонического объединения «Идель» Министерства культуры Республики Татарстан в г. Казани [12].

В Советском союзе проводились экспериментальные исследования деревожелезобетонных балок и деревожелезобетонных мостов [13–15]. Опытные образцы состояли из железобетонной полки и клееной деревянной балки прямоугольного сечения (рис. 2). Причем рассматривались неармированные и армированные продольной внешней стержневой арматурой клееные деревянные балки. Соединение железобетонной плиты с клееными деревянными балками

осуществляется при помощи различных анкеров, препятствующих отслоению и сдвигу двух материалов. Железобетонная плита в деревожелезобетонных мостах благодаря ее массивности оказывает существенное влияние на динамические характеристики пролетного строения, обеспечивает равность покрытия и защиту пролетных строений от атмосферных воздействий. В расчетно-конструктивном отношении железобетонная плита позволяет снизить высоту клееных деревянных балок до $1/17$ – $1/19$ пролета, уменьшить максимальные касательные напряжения вдвое [13].

В 2000-х годах в зарубежном строительстве в таких случаях часто усиливают деревянные балки, включая их в совместную работу с укладываемой по балкам монолитной железобетонной плитой [16–18]. Эти соединения получили наименования: деревобетонные композитные системы (ТСС). Такое усиление всегда оказывается более дешевым, чем полная замена деревянных балок на стальные или возведение железобетонного перекрытия.

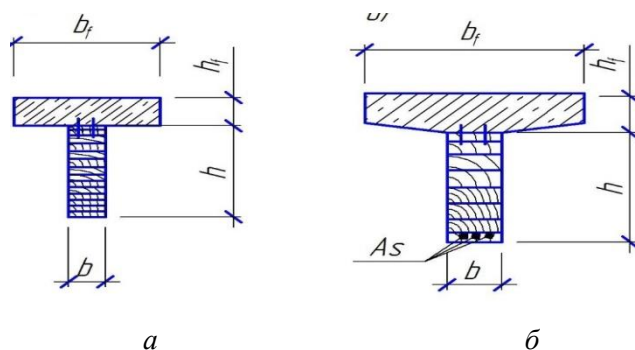


Рис. 2. Поперечные сечения опытных деревожелезобетонных балок: *a* – клееные деревянные балки неармированные; *б* – клееные деревянные балки армированные

Это позволяет также повысить огнестойкость перекрытий, увеличить жесткость для внутренних и наружных стен здания. Примеры соединений между бетоном и деревом в зарубежной практике показаны на рис. 3.

Технические и экономические преимущества обсуждаемого усиления во многом определяются типом и способом постановки креплений, используемых для объединения деревянных балок с железобетонной плитой в единую комплексную конструкцию. Для этого уже предложены и используются различные механические и клеємеханические соединения. Эти соединения в разной мере отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Основные требования, предъявляемые к ним:

- обеспечить при минимальных деформациях надежное восприятие усилий сдвига, возникающих между железобетонной плитой и деревянной балкой после объединения их в единое целое;
- исключить возможность отслоения железобетонной плиты от деревянных балок;
- быть простыми в постановке, допускать возможность использовать средства малой механизации;
- обладать малой металлоемкостью;
- допускать постановку на необработанные поверхности балок или при минимальной механической обработке поверхностей.

На рис. 3 представлены основные виды соединения деревобетонных элементов, которые разделены по типам: нагельные соединения, соединения с использованием труб, зубчатых колец и пластин; соединения с бетонными шпонками и клеємеханические соединения.

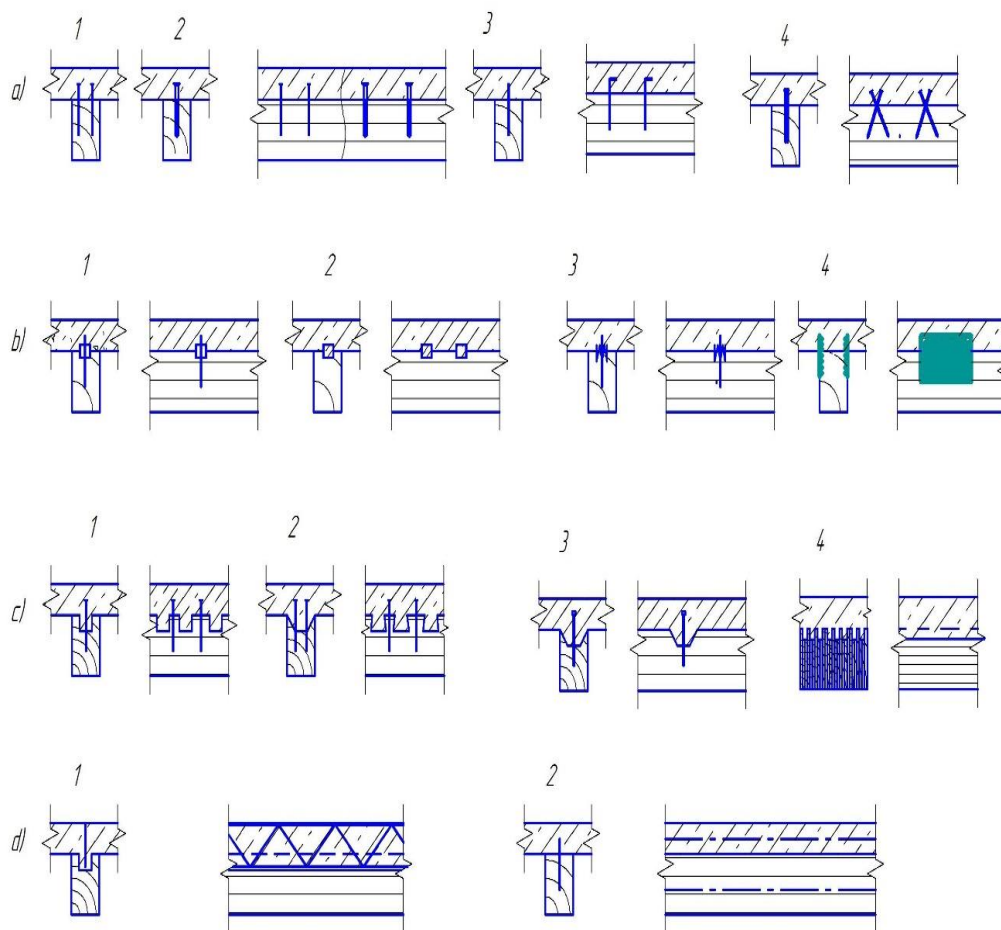


Рис. 3. Примеры соединений между бетоном и деревом: *a1* – гвозди; *a3* – склеенные железобетонные стальные стержни; *a2* и *a4* – шурупы; *b1* и *b2* – разрезные кольца; *b2* – стальные трубы; *b3* – зубчатые пластины; *b4* – стальные перфорированные металлические пластины (МЗП); *c1* – круглые углубления в древесине, с креплениями, предотвращающими подъем; *c2* – квадратные углубления, то же самое; *c3* – чашеобразные углубления и предварительно напряженные стальные стержни; *c4* – настил из деревянных досок с гвоздями и стальные сдиговые пластины, прорезанные в более глубоких досках; *d1* – стальная решетка, приклеенная к древесине; *d2* – стальная пластина, приклеенная к древесине

Соединения 1–4 (рис. 3) представляются малопригодными для целей усиления эксплуатируемых балок из-за большой трудоемкости выполнения врубок и присущих всем врубкам известных недостатков, в частности, малой вязкости при работе древесины на скалывание.

Сомнительными представляются и гвоздевые соединения (рис. 3, *a1*–*a2*), обладающие «ползучестью во времени», что обуславливает накопление перекрытиями изгибных деформаций с перераспределением нормальных напряжений в их комплексных деревобетонных сечениях под длительными

нагрузками. Из-за относительно малой способности гвоздей для восприятия усилий сдвига необходимо забить их в балки в большом количестве. В порядке предостережения заметим в этой связи, что в соединениях по типу (рис. 3, *c1–c2*) нельзя учитывать совместную работу врубок и гвоздей на усилия сдвига из-за различной их деформативности; гвозди в этом случае, работая на выдергивание, могут лишь предотвратить отслоение железобетонной плиты от деревянных балок.

Эффективными представляется использование наклонно вклеенных в древесину арматурных стержней (рис. 4, *a1*). В России накоплен значительный положительный опыт применения такого рода соединений. Их проектирование базируется на нормативных документах, разработанных в ЦНИИСК, ЦНИИПромзданий, Новосибирском ГАСУ.

С учетом условий работы на реконструируемых перекрытиях считаю возможным рекомендовать для соединения плиты с деревянными балками стальные пластинчатые нагели, плотно устанавливаемые в поперечные пропилы или забиваемые в древесину заостренной стороной. В ведущих отечественных институтах были проведены глубокие экспериментально-теоретические исследования соединений деревянных элементов на стальных цилиндрических нагелях.

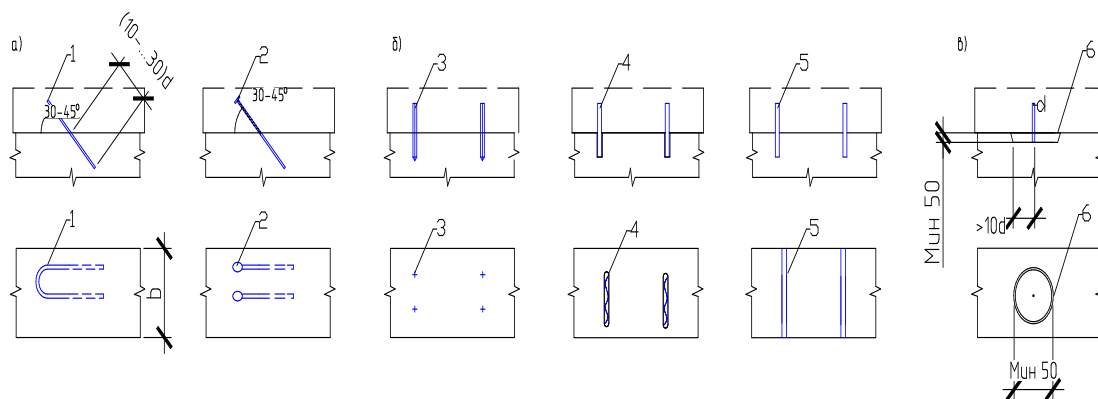


Рис. 4. Пример соединений рекомендованные для применения в России:

а – на наклонно располагаемых связях, работающих на выдергивание: *1* – на вклеенных арматурных стержнях периодического профиля, *2* – на винтах; *б* – нагельного типа: *3* – стальные нагеля крестообразного сечения, *4* – гофрированные штампованные нагеля, *5* – стальные пластинчатые нагеля, вставленные в пропилы или забитые заостренной стороной; *в* – шпоночного типа: *б* – на бетонных шпонках блюдцеобразной формы

Самые технологичные и широко используемые в современной практике деревобетонные композитные системы (ТСС), с саморезами (*STS*) – это усовершенствованный резьбовой крепеж для применения в крупномасштабных деревянных конструкциях (рис. 3, *a2* и *a4*). Шурупы этого типа в основном имеют непрерывную резьбу по всей длине, что обеспечивает более равномерную передачу нагрузки между шурупом и древесным материалом при осевом воздействии или сдвиге [19]. Кроме того, многие экспериментальные и численные исследования [20–24] показали, что прочность и жесткость соединения *STS* значительно повышаются, если винт установлен под углом (например, 45° или 30°) к поверхности деревянного элемента, а не под прямым углом (90°) к поверхности.



Чтобы лучше спрогнозировать грузоподъемность, эффективную жесткость при изгибе и рассчитать реакцию на нагрузку и прогиб, разработали модель для композитной балки из древесно-бетонного материала, учитывающую линейно-упругую и идеально пластичную зависимость между нагрузкой и проскальзыванием соединения, основанную на постепенной податливости при возрастающей нагрузке.

При выполнении реконструкции и ремонте зданий не всегда есть возможность создания ТСС, конструкций с помощью соединений на гвоздях, вклеенных анкерах и винтах, так как древесина балок имеет повреждения по центру верхней грани балки. Для этих случаев оправдано применение соединений на пластинчатых нагелях. В настоящее время в ННГАСУ проводятся исследования образцов соединений древесины с бетоном на стальных пластинах. Целью исследований является изучение деформационно-прочностных свойств этих соединений при действии кратковременных и длительных нагрузок, разработка методики расчета с учетом фактора времени.

Заключение

Как в экспериментальном, так и в теоретическом плане вопросы прочности деревобетонных изгибаемых элементов в зоне совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил требуют дальнейшего изучения. В отдельных исследованиях установлены основные закономерности разрушения, развития прогибов, их зависимость от конструктивных особенностей элемента при статическом нагружении в зоне действия максимальных изгибающих моментов и на их основе разработаны методы расчета прочности нормальных сечений с учетом податливости соединения слоев бетона и древесины.

Необходимо разработать методику, отражающую действительную работу деревожелезобетонных изгибаемых элементов в зоне действия максимальных изгибаемых моментов и позволяющую учитывать действительное напряженно-деформированное состояние конструктивного элемента с учетом податливости соединения между слоями и реальные неупругие режимы деформирования бетона и древесины, а также учесть фактор времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abeles, P. W. Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Concrete Constructions / P. W. Abeles // Journal A. C. I. – 1954. – Vol. 26, dec. – P. 361–376.
2. Давыдов, С. С. Экспериментальные исследования коррозиестойких конструкций на основе древесины и легкого армополимербетона / С. С. Давыдов, А. С. Жиров, В. Н. Ликолаев // Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1975. – Вып. 494. – С. 28–38.
3. Кириенко, И. А. Деревобетон и ксилобетон / А. И. Кириенко // Строительная промышленность. – 1928. – № 4. – С. 15–20.
4. Киеня, М. А. Деревобетонные кессоны / М. А. Киеня // Строительная промышленность. – 1930. – № 2. – С. 10–17.
5. Цискрелли, Г. Д. Разработка типов и методов расчета конструкций из местных материалов. Деревобетон. – Тбилиси, 1933. – С. 115.
6. Петров, А. И. Деревобетон : свойства деревобетона, как конструктивного материала / А. И. Петров, Г. С. Пушкин. – Ленинград : Ленингр. ин-т инж. ж.-д. транспорта, 1936. – 76 с.
7. Schodi, J. An improved type of composite to timber bridges / J. Schodi, // Journal 2 ingenious Constructer. – 1926. – Vol. 19. – P. 71–83.



8. Ратнер, В. И. Деревобетонное перекрытие // Строительная промышленность. – 1930. – № 5. – С. 408–411.
9. Dean, W. E. Timber – concrete bridge decks in Florida / W. E. Dean // Journal Civil Engr. – 1943. – Vol. 13. – P. 175–187.
10. Horkins, W. C. Attention turned to timber bridges by priorities on structures steel / W. C. Horkins // Journal Eng. News Rec. – 1942. – Vol. 28, № 7. – P. 127–137.
11. Строительство и реконструкция. Исследования и ремонты строительных конструкций. – Прага : АБФ, 1993. – 283 с.
12. Мирсаяпов, И. Т. Оценка прочности нормальных сечений деревожелезобетонных конструкций с учетом податливости связей сдвига на основе аналитических диаграмм деформирования материалов / И. Т. Мирсаяпов, И. С. Абдрахманов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2001. – Вып. 5. – С. 48–53.
13. Кулиш, В. И. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой / В. И. Кулиш. – Москва : Транспорт, 1979. – 160 с.
14. Мельников, Ю. О. Применение метода начальных параметров для расчета деревобетонных мостовых балок / Ю. О. Мельников // Труды СибАДИ. – 1970. – № 3. – С. 27–35.
15. Мельников, Ю. О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок / Ю. О. Мельников // Труды СибАДИ. – 1970. – № 3. – С. 35–45.
16. Ceccotti, A. Composite concrete–timber structures / A. Ceccotti // Progress in Structural Engineering and Materials. – 2002. – № 4. – P. 264–275.
17. Дмитриев, П. А., Орлович Р. Б. Об усилении деревянных перекрытий реконструируемых зданий путем включения балок в совместную работу с железобетонной плитой / П. А. Дмитриев // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 1. – С. 6–10.
18. Mirdad, Md Abdul Hamid. Analytical Procedure for Timber–Concrete Composite (TCC) / Md Abdul Hamid Mirdad, Rafid Khan, Ying Hei Chui System with Mechanical // Connectors Buildings. – 2022. – № 12 (7). – P. 885. – URL: <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12070885>.
19. Dietsch, P. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report / P. Dietsch, R. Brandner // Constr. Build. Mater. – 2015. – № 97. – P. 78–89. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.028>.
20. Kevärinmäki, A. Joints with inclined screws / A. Kevärinmäki // In Meeting : 35 international council for building research studies and documentation, CIB W18 - timber Structures. – Kyoto, Japan, 2002.
21. Bejtka, I. Blass H. Joints with inclined screws // I. Bejtka, H. Blass // In Meeting : 35 international council for building research studies and documentation, CIB W18 - timber Structures. – Kyoto, Japan, 2002.
22. Closen, M. Self-tapping screw assemblies under monotonic and reverse cyclic load / M. Closen. – Vancouver, Canada : M.A.Sc thesis : University of British Columbia, 2012.
23. Jockwer, R. Fully Threaded Self-Tapping Screws Subjected to Combined Axial and Lateral Loading with Different Load to Grain Angles / Jockwer, R.; Steiger, R.; Frangi, A. // Springer : Dordrecht, The Netherlands, 2014. – P. 265–272.
24. Tomasi, R. Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws / R. Tomasi, A. Crosatti, M. Piazza // Constr. Build. Mater. – 2010. – № 24. – P. 1560–157. – URL: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.03.007>.



TOROPOV Aleksandr Sergeevich^{1,2}, associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; **LOBOV Dmitry Mikhailovich¹**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of reinforced concrete, stone and wooden structures; **KLYUEV Sergey Vasilevich²**, doctor of technical sciences, professor

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF WOOD-CONCRETE STRUCTURES BASED ON MECHANICAL CONNECTIONS (REVIEW)

Nizhniy Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhniy Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (904) 791-31-73; e-mail: toropov700@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.

46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia.

Tel.: (4722) 54-20-87. e-mail: Klyuyev@yandex.ru

Key words: wood-concrete composite systems (TSS), calculation of composite structures, mechanical connections, nail, wood, concrete.

The analysis of the development of structural solutions of wood-concrete structures abroad and in our country is presented. The main types of mechanical connections and recommendations for their application in domestic practice are shown. The features of constructive solutions that are not taken into account in the framework of existing calculation methods are shown.

REFERENCES

1. Abeles P. W. Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Concrete Constructions. Journal ACI, 1954, Vol. 26, Dec., P. 361–376.
2. Davydov S. S., Zhironov A. S., Likolaev V. N. Eksperimental'nye issledovaniya korroziiestoykikh konstruksiy na osnove drevesiny i legkogo armopolimerbetona [Experimental studies of corrosion-resistant structures based on wood and light reinforced polymer concrete]. Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta [Proceedings of the Moscow Institute of Railway Transport Engineers]. Moscow, 1975, Iss. 494, P. 28–38.
3. Kirienko I. A. Derevobeton i ksilobeton [Wood-concrete and xylo-concrete]. Stroitel'naya promyshlennost [Construction Industry]. Moscow, 1928, № 4, P. 15–20.
4. Kienya M. A. Derevobetonnye kessony [Wood-concrete caissons]. Stroitel'naya promyshlennost [Construction Industry]. Moscow, 1930, № 2, P. 10–17.
5. Tsiskrelli G. D. Razrabotka tipov i metodov rascheta konstruksiy iz mestnykh materialov. Derevobeton [Development of types and calculation methods for structures made of local materials. Wood-concrete]. Tbilisi, 1933, 115 p.
6. Petrov A. I., Pushkin G. S. Derevobeton: svoystva derevobetona, kak konstruktivnogo materiala [Wood-concrete: properties of wood-concrete as a structural material]. Leningrad, Leningr. in-t inzh. zh.-d. transporta, 1936, 76 p.
7. Schodi J. An improved type of composite timber bridges. Journal of the Institution of Civil Engineers, 1926, Vol. 19, P. 71–83.
8. Ratner V. I. Derevobetonnoe perekrytie [Wood-concrete floor]. Stroitel'naya promyshlennost [Construction Industry]. Moscow, 1930, № 5, P. 408–411.
9. Dean W. E. Timber-concrete bridge decks in Florida. Journal of Civil Engineering, 1943, Vol. 13, P. 175–187.
10. Horkins W. C. Attention turned to timber bridges by priorities on structural steel. Engineering News-Record, 1942, Vol. 28, No. 7, P. 127–137.



11. Stroitelstvo i rekonstruktsiya. Issledovaniya i remonty stroitelnykh konstruktсий [Construction and reconstruction. Research and repair of building structures]. Prague, ABF, 1993, 283 p.
12. Mirsayapov I. T., Abdrakhmanov I. S. Otsenka prochnosti normalnykh secheniy derevo-zhelezobetonnykh konstruktсий s uchetom podatlivosti svyazey sdviga na osnove analiticheskikh diagramm deformirovaniya materialov [Assessment of the strength of normal sections of timber-concrete structures considering the flexibility of shear connections based on analytical material deformation diagrams]. Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk [Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. Nizhny Novgorod, 2001, Iss. 5, P. 48–53.
13. Kulish V. I. Kleenye derevyannye mosty s zhelezobetonnoy plitoy [Glued timber bridges with a reinforced concrete slab]. Moscow, Transport, 1979, 160 p.
14. Melnikov Yu. O. Primenenie metoda nachalnykh parametrov dlya rascheta derevobetonnykh mostovykh balok [Application of the initial parameters method for calculating wood-concrete bridge beams]. Trudy SibADI [Proceedings of SibADI]. Omsk, 1970, № 3, P. 27–35.
15. Melnikov Yu. O. Vliyanie podatlivosti svyazey na prochnost i zhestkost derevobetonnykh mostovykh balok [Influence of connection flexibility on the strength and stiffness of wood-concrete bridge beams]. Trudy SibADI [Proceedings of SibADI]. Omsk, 1970, № 3, P. 35–45.
16. Ceccotti A. Composite concrete-timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials, 2002, No. 4, P. 264–275.
17. Dmitriev P. A., Orlovich R. B. Ob usilenii derevyannykh perekrytiy rekonstruiemykh zdaniy putem vklyucheniya balok v sovместnuyu rabotu s zhelezobetonnoy plitoy [On strengthening timber floors of reconstructed buildings by including beams in joint work with a reinforced concrete slab]. Izvestiya vuzov. Stroitelstvo [Izvestiya Vuzov. Construction]. Novosibirsk, 2000, № 1, P. 6–10.
18. Mirdad M. A. H., Khan R., Chui Y. H. Analytical Procedure for Timber-Concrete Composite (TCC) System with Mechanical Connectors. Buildings, 2022, No. 12 (7), P. 885. URL: <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12070885>.
19. Dietsch P., Brandner R. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report. Construction and Building Materials, 2015, No. 97, P. 78–89. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.028>.
20. Kevarinmäki A. Joints with inclined screws. In: Proceedings of the 35th International Council for Building Research Studies and Documentation, CIB W18 - Timber Structures. Kyoto, Japan, 2002.
21. Bejtka I., Blass H. J. Joints with inclined screws. In: Proceedings of the 35th International Council for Building Research Studies and Documentation, CIB W18 - Timber Structures. Kyoto, Japan, 2002.
22. Closen M. Self-tapping screw assemblies under monotonic and reverse cyclic load. M.A.Sc. thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2012.
23. Jockwer R., Steiger R., Frangi A. Fully Threaded Self-Tapping Screws Subjected to Combined Axial and Lateral Loading with Different Load to Grain Angles. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2014, P. 265–272.
24. Tomasi R., Crosatti A., Piazza M. Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws. Construction and Building Materials, 2010, No. 24, P. 1560–1571. URL: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.03.007>.

© А. С. Торопов, Д. М. Лобов, С. В. Ключев, 2026

Получено: 13.05.2026 г.