

состояния. Предлагаемая методика позволяет учесть начальное напряженно-деформированное состояние усиливаемых в зоне среза элементов, эффект предварительного напряжения дополнительной поперечной арматуры, различные физико-механические и геометрические характеристики усиливаемой и усиливающей частей элемента.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Vecchio, F.J. Analysis based on the Modified Compression Field Theory / F.J. Vecchio // IABSE Colloq. On Structural Concrete. – Report, v. 62. – Stuttgart, 1991. – P. 321-326.
2. Глухов, Д.О. Применение мягких вычислений для сглаживающей аппроксимации сложных сингулярных зависимостей / Д.О. Глухов, Е.Д. Лазовский, Т.М. Глухова, Г.А. Самошенко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2012. – №12. – С. 2-5.
3. Лазовский, Е.Д. Предпосылки, методика и программа для расчета напряженно-деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов / Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – №16. – С. 33-39.
4. Пецольд, Т.М. Методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза / Т.М. Пецольд, Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – №16. – С. 40-45.
5. Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. Усиление железобетонных конструкций/Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 1998. – 189 с.
6. Тур, В.В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил : Монография /В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест.: БрГТУ, 2000. – 397 с.

УДК 624.011

*Леуцк Е.В.*

### **ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИНТОВ В СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

При проектировании деревянных конструкций одной из наиболее сложных задач является решение вопросов, связанных с конструированием и расчетом узловых соединений. Особенно актуальной эта проблема становится при проектировании деревянных ферм, рам, решетчатых арок. Конструктивное решение узловых соединений элементов деревянных конструкций в основном зависит от величины действующих в этих элементах усилий.

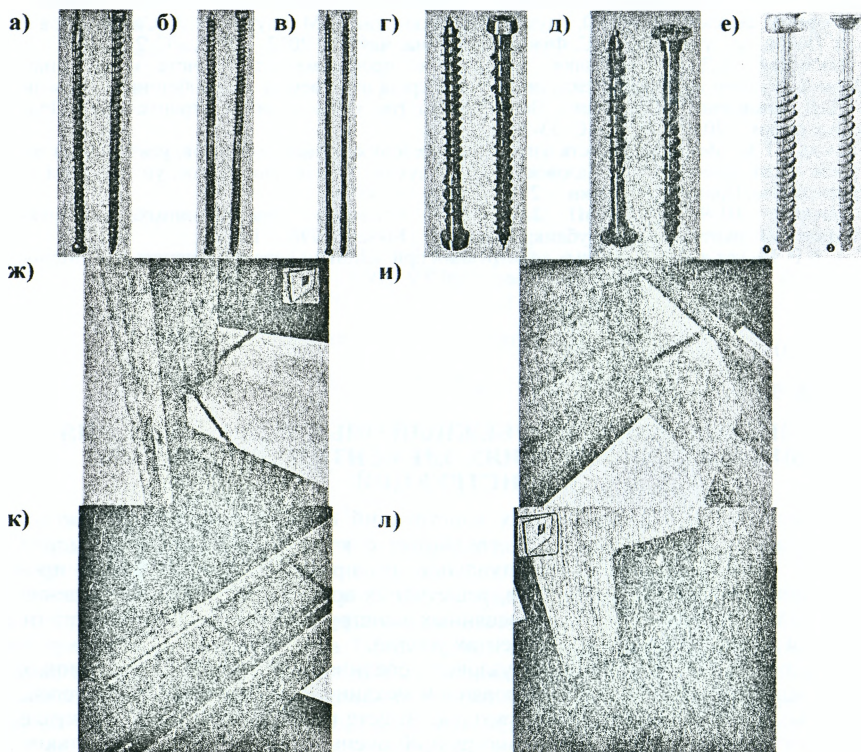
В странах СНГ большинство узловых соединений элементов деревянных конструкций выполняется с использованием механических связей в виде нагелей, вклеенных арматурных стержней, гвоздей. Вместе с тем в зарубежной практике при проектировании деревянных конструкций очень широко используются такие механические связи, как винты, которые в узловых соединениях в основном работают на восприятие растягивающих и сжимающих усилий.

Номенклатура используемых в соединениях деревянных конструкций винтов и области применения приведены на рисунке 1.

Наиболее широкое распространение винты получили в качестве элементов соединения при повышении несущей способности опорных участков деревянных конструкций и усилении элементов в зонах концентрации напряжений (рис. 2).

Кроме того, современные винты позволяют выполнять соединения элементов как из цельной, так и из клееной древесины. Высокая прочность материала винтов дает возможность соединять элементы, в которых имеет место действие значительных усилий, т.е. конструировать узлы большепролетных конструкций по аналогии с вклеенными стержнями. Как известно, соединения на вклеенных

стержнях имеют ряд недостатков: невозможность полного контроля клеевой прослойки между стержнем и поверхностью древесины в отверстии; недостаточную изученность работы при длительной эксплуатации; относительно низкую огнестойкость; сложность при изготовлении конструкций, обусловленную необходимостью длительного времени (до полимеризации клея) сохранять всю конструкцию в одном и том же положении. Поэтому одним из путей повышения надежности такого рода соединений является использование вместо вклеенных стержней винтов.



а – винт с полной резьбой с цилиндрической головкой; б, в – винт с двухзаходной резьбой; г, д – винт для внешних работ; е – винтовой анкер; ж – скрытое соединение панели перекрытия со стеновой панелью с помощью винтов типа а; и – скрытое соединение несущих конструкций кровли с помощью винтов типа б; к – крепление деревянных реек на скрытую теплоизоляцию на кровле с помощью винтов типа в; л – соединение стеновой панели с монолитной плитой фундамента винтами типа е

Рисунок 1 – Общий вид винтов и примеры узловых соединений с использованием винтов

Следует отметить, что древесина является анизотропным материалом, т.е. ее механические свойства различны в различных направлениях и зависят от угла между направлением действующего усилия и направлением волокон. Как следствие, прочностные и жесткостные характеристики, в особенности растяжение перпендикулярно направлению волокон, скалывание вдоль волокон,

характеризуются малыми значениями. Именно с целью усиления этих «слабых» направлений предлагают использовать винты как в месте приложения нагрузки, например опорные площадки, так и для повышения прочности и жесткости конструктивных элементов в целом.

Что же касается проектирования винтовых соединений, то существующая нормативная база [1, 2] не в полной мере позволяет использовать такие механические связи в практике строительства. Следует отметить, что приведенная в [1, 2] методика расчета применима для винтов, работающих на растяжение (выдергивание) поперек волокон древесины, изготовленных в соответствии с требованиями [3, 4], что ограничивает применение современных винтов, отличающихся по своим параметрам, а именно длине винтов, шагу резьбы и прочности материала, от [3, 4].

Вопросам исследования работы соединений элементов деревянных конструкций, где в качестве механических связей используются стальные винты, посвящены работы [5–11].

Как уже отмечалось в [7], определяемая по [1, 2] несущая способность винта базируется на предположении равномерного распределения всех компонент напряжений, возникающих в древесине, расположенной у контактных площадок при его выдергивании, что является не вполне обоснованным. При выдергивании винта контакт осуществляется лишь по поверхностям резьбы и древесины, следовательно, распределение напряжений в древесине будет иметь сложный характер не только по длине винта, но и по его окружности.

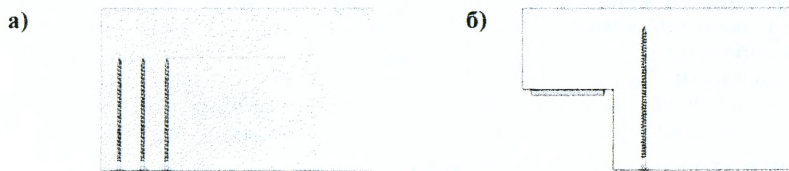


Рисунок 2 – Применение использования винтов при усилении элементов деревянных конструкций

Следует отметить, что в [9, 11–13] несущая способность соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих растягивающее или сжимающее усилия, должна определяться из следующих условий:

- 1) для винтов, работающих на растяжение:
  - выдергиванию ввинченной части винта из массива древесины;
  - прочности материала винта при растяжении;
  - прочности на местное смятие древесины под головкой винта;
- 2) для винтов, работающих на сжатие:
  - продавливания ввинченной части винта в массиве древесины;
  - потери устойчивости винта в массиве древесины от действия сжимающего усилия;
- 3) для винтов в соединениях стальных пластин с элементами из древесины:
  - выдергиванию (вдавливанию) ввинченной части винта из массива (в массив) древесины;
  - прочности материала винта при растяжении (сжатии);

- прочности головки винта, которая должна быть больше прочности винта на растяжение;
- прочности массива в области группы винтов на растяжение (сжатие) поперек волокон.

Приведенная в [12] методика определения несущей способности винтовых соединений справедлива, во-первых, при угле наклона оси винта к направлению волокон древесины от 30° до 90°, во-вторых, для винтов с характеристиками, соответствующими [13], т.е. максимальный диаметр винтов не превышает 12 мм. Однако следует отметить, что использование винтов в узловых соединениях элементов деревянных конструкций, где имеет место действие значительных по величине внутренних усилий, не всегда может быть воспринято винтами малых диаметров. Кроме того, существует необходимость замены соединений на клеенных стержнях, которые широко используются в деревянных конструкциях, в частности в странах СНГ, на винты.

Для использования в соединениях элементов деревянных конструкций винтов должна быть разработана методика, учитывающая особенности их работы. Как было отмечено, контакт осуществляется лишь по поверхностям резьбы винта и древесины, следовательно, древесина находится в условиях сложного напряженного состояния. Кроме того при достижении некоторого уровня нагрузки происходит нелинейное деформирование древесины, находящейся между витками резьбы винта [14], что также необходимо учитывать при расчете деревянных конструкций с учетом податливости соединений.

Для разработки методики расчета соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов необходимо провести комплекс экспериментально-теоретических исследований по определению их несущей способности и деформативности. Разработка такой методики расчета позволит отказаться от использования клеенных стержней, снизить время и затраты при изготовлении и монтаже деревянных конструкций, повысить их надежность и долговечность.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. 2009. – 63 с. Технический кодекс установившейся практики.
2. СП 64.13330.2011 Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция. СНиП II-25-80.
3. Шурупы с полукруглой головкой. Конструкция и размеры: ГОСТ 1144-80.
4. Шурупы с полуподтайной головкой. Конструкция и размеры: ГОСТ 1146-80.
5. Найчук, А.Я. К вопросу оценки несущей способности стальных винтовых стержней, завинченных под углом к волокнам древесины / А.Я. Найчук, М.В. Бабаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 1. – С. 21–23.
6. Найчук, А.Я. Численное исследование напряженного состояния древесины в зоне винтов, работающих на выдергивание поперек волокон / А.Я. Найчук, Е.В. Лешук // Строительная наука – 2014: теория, образование, практика, инновации: сб. трудов / Под ред. Б.В. Лабудина – Архангельск, 2014. – С. 276–282.
7. Найчук, А.Я. К вопросу методики определения расчетного сопротивления выдергиванию винта под углом 90° к направлению волокон древесины / А.Я. Найчук, Е.В. Лешук // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. научн. трудов / Под ред. В.В. Стоянова – Одесса, 2014. – С. 122–130.
8. Self-tapping screws as reinforcement for timber structures / M. Trautz, Christoph KOJ.
9. Bejtka, I. Self-tapping screws as reinforcement in beam supports / I. Bejtka, H.J. Blass // CIB-W18 Conference Proceedings: Paper 39-7-2, Florence, Italy – 2006.
10. Pimbacher, G. Base Parameters of self-tapping Screws / G. Pimbacher, R. Brandner, G. Schickhofer // CIB-W18: Paper 42-7-1, Dübendorf, Schweiz.

11. Formolo, S. Compression perpendicular to the grain and reinforcement of a pre-stressed timber deck / S. Formolo, R. Granström // Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – Göteborg, Sweden 2007.

12. CEN. Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. Brussels: CEN; 2004.

13. Деревянные соединения. Крепежные элементы. Требования: EN 14592.

14. Провести исследования и разработать предложения по рациональному применению клееной древесины в малоэтажных жилых и общественных зданиях с учетом зарубежного опыта и требований ТКП EN 1995-1-1 (Еврокод 5): отчет о НИР (этап 2) / Филиал РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр, рук. темы А.Я. Найчук. – Брест, 2013. – 170 с. – №ГР 20132226.

УДК 624.014.2

*Малиновский В.Н., Кривицкий П.В.*

### ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Концепция классической модели ферменной аналогии впервые была предложена в начале XX века инженерами *W. Ritter* [1] и *E. Mörsch* [2], которая в первом приближении рассматривает проблему передачи среза в железобетонном элементе при наличии наклонных трещин. Согласно данной модели после появления диагональных трещин в приопорной зоне, образованных главными растягивающими напряжениями, железобетонную балку можно представить в виде фермы с параллельными поясами, связанными поперечной арматурой (раскосами) и сжатыми диагональными бетонными полосами (подкосами), которые формируются смежными наклонными трещинами, направленными под углом к продольной арматуре. При этом диагональные бетонные подкосы подвержены одноосному сжатию, а продольная арматура – одноосному растяжению. Для упрощения бетонные подкосы предлагается направлять под углом  $45^{\circ}$  к продольной оси элемента. Классическая модель ферменной аналогии предполагает, что сжатые подкосы параллельны направлению трещин и что напряжения не передаются через трещины.

В 1907 году профессора *M. O. Withey* и *A. N. Talbot* [3] провели экспериментальные исследования на образцах с малым значением поперечного армирования и установили, что в большинстве случаев модель ферменной аналогии занижает величину сопротивления срезу по сравнению с экспериментальными данными. На основании полученных результатов исследователи впервые предложили ввести дополнительную составляющую по бетону и таким образом прочность по наклонным сечениям при срезе проверяли с учетом растягивающих и сжимающих усилий:

$$V_c = 0,167\sqrt{f_c} \cdot b \cdot d. \quad (1)$$

В 50–60 годах XX века было выполнено огромное количество экспериментальных исследований по изучению вклада «нагельного эффекта» и «зацепления по берегам трещины» в сопротивление срезу. В 1964 году *H.V. Kupfer* [4] предложил модель ферменной аналогии с переменным углом сжатого бетонного подкоса и, используя принцип минимума деформаций (энергии), доказал эффективность применения поперечной арматуры. Условие определения угла наклона диагональной трещины (сжатого подкоса) по [4] выглядит следующим образом:

$$\tan^2 \alpha - \frac{\sigma_x - n\sigma_c}{2\sigma_x} \tan \alpha - \frac{n\tau}{\sigma_x} (1 - \tan^4 \alpha) = 0. \quad (2)$$