

# УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ ПУТЕМ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Аркаев М.А., Медведев А.С., Веккер П.И., Жабина В.А.  
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

**Аннотация.** Приведен алгоритм расчета усиления деревянных конструкций при их поперечном изгибе путем увеличения поперечного сечения с использованием витых крестообразных нагелей. Указаны особенности влияния параметров предложенных нагелей на существующую методику расчета усиления.

В течение жизненного цикла балочных деревянных конструкций различного назначения зачастую возникает необходимость их восстановления или усиления. Связано это, прежде всего, с тем, что во время эксплуатации воздействие различных факторов приводит к снижению их эксплуатационной надежности и долговечности. Кроме того, необходимость усиления конструкций может возникнуть и вследствие увеличения действующих на них нагрузок [1].

Проведенный анализ существующих способов усиления балочных деревянных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений показал, что наиболее простым, и в то же время эффективным способом является усиление путем увеличения площади поперечного сечения [2]. При использовании такого способа усиливаемый элемент и элементы усиления образуют составной стержень, т.е. стержень, поперечное сечение которого состоит из нескольких частей, соединенных между собой соединительными связями. Использование абсолютно жестких связей (например, клея) связано со значительной сложностью и большой трудоемкостью выполнения работ. Поэтому при усилении эксплуатируемых деревянных конструкций чаще используют дискретные механические связи. В настоящее время наиболее распространены связи нагельного типа, традиционными среди них считаются цилиндрические нагели, болты, штифты, винты, шурупы, гвозди, при этом они имеют ряд существенных недостатков [3]. На пути совершенствования механических связей в ОГУ были разработаны стальные стержни крестообразного поперечного сечения витой формы (рисунок 1).

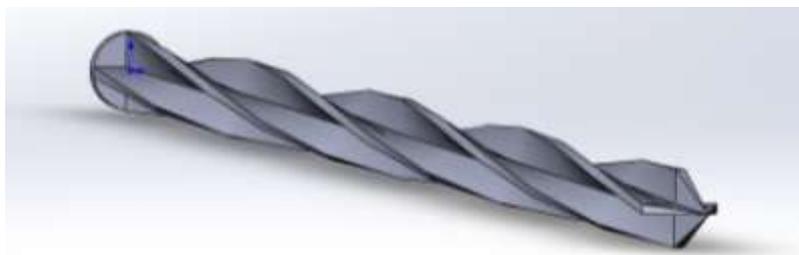
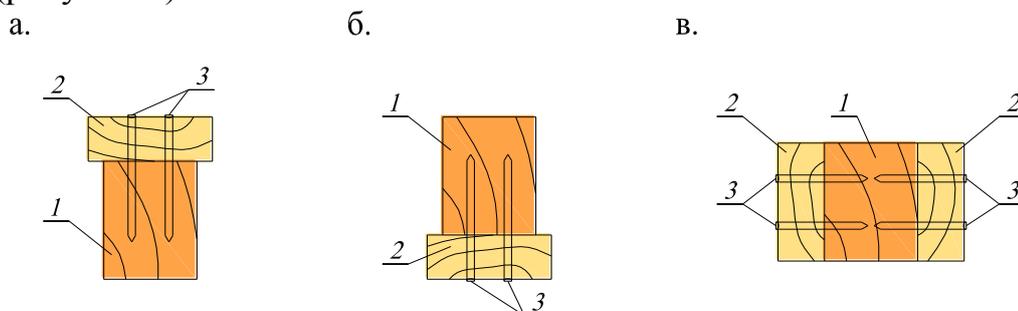


Рисунок 1 - Общий вид витого крестообразного стержня

При использовании дискретных механических связей в рамках усиления деформации составной балки и величины напряжений в ней при прочих равных условиях больше, чем деформации балки цельного сечения за счет податливости

примененных механических связей. При этом податливость связей соединений, как правило, оказывает большее влияние на работу конструкции под нагрузкой, чем упругие деформации самой древесины элементов.

При разработке усиления путем увеличения поперечного сечения с использованием механических связей элементы усиления могут располагаться с любой из сторон усиливаемого деревянного элемента, в зависимости от существующего объемно-планировочного и конструктивного решений здания или сооружения (рисунок 2).



а - у верхней грани; б - у нижней грани; в - у боковых граней.

1 - усиливаемый элемент, 2 - элемент усиления, 3 - соединительный элемент

Рисунок 2 - Варианты усиления балки путем увеличения поперечного сечения с различным расположением элементов усиления

В соответствии с методом расчета строительных конструкций по предельным состояниям, при усилении изгибаемых деревянных конструкций путем увеличения поперечного сечения выполняют следующие расчеты: на прочность по нормальным напряжениям; по жесткости; по определению требуемого количества связей для восприятия касательных (сдвиговых) напряжений. Согласно действующему своду правил СП 64.13330.2011 [4] расчет изгибаемых элементов составного поперечного сечения на прочность по нормальным напряжениям производят по формуле:

$$\frac{M}{W_{нт} \cdot k_w} \leq R_{и} \quad , \quad (1)$$

где  $M$  – расчетный изгибающий момент;

$W_{нт}$  - расчетный момент сопротивления нетто поперечного сечения элемента;

$k_w$  - коэффициент, учитывающий податливость соединительных связей и определяемый по таблице 16 [4];

$R_{и}$  - расчетное сопротивление изгибу.

При определении геометрических характеристик составного поперечного сечения усиливаемого элемента в формулу (1) необходимо использовать вместо  $W_{нт}$  приведенное сечение, т.е.  $W_{нт}^{пр}$  ввиду того, что модули упругости усиливаемого элемента и элементов усиления, как правило, бывают различны. На основании изложенного, одним из этапов при разработке усиления деревянных конструкций является определение фактических физико-механических

характеристик древесины усиливаемого элемента путем отбора образцов и последующими стандартными испытаниями.

При выполнении расчетов усиленных конструкций по жесткости проверяют выполнение условия:

$$f \leq [f] \quad , \quad (2)$$

где  $f$  – фактическое значение прогиба конструкции;

$[f]$  – предельно допустимое значение прогиба конструкции, определяемое по таблице 19 [4].

Значение фактического прогиба конструкции определяют по правилам строительной механики также с учетом приведенных геометрических характеристик в зависимости от нагрузки, поперечного сечения, материала и расчетной схемы конструкции. Так, например, для свободно опертой балки с действующей на нее равномерно-распределенной нагрузкой максимальное значение прогиба определяют по формуле:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot \ell^4}{384 \cdot E \cdot I_{бр}^{np}} \quad , \quad (3)$$

При этом в соответствии с [4] прогиб изгибаемых элементов составного поперечного сечения следует определять по моменту инерции приведенного сечения брутто с умножением на коэффициент  $k_{ж}$ . Коэффициент  $k_{ж}$  учитывает сдвиг податливых соединений и приведен в таблице 16 [4].

Требуемое количество связей для восприятия касательных напряжений в соответствии с [4] для изгибаемых элементов на участке с однозначной эпюрой поперечных сил определяют из условия:

$$n_c \geq \frac{1,5 \cdot (M_B - M_A) \cdot S_{бр}}{T \cdot I_{бр}} \quad , \quad (4)$$

где  $T$  – расчетная несущая способность связи на один шов;

$M_A, M_B$  – изгибающие моменты в начальном  $A$  и конечном  $B$  сечениях рассматриваемого участка;

$S_{бр}$  – статический момент брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$  – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси.

Отметим, что в формуле (4) при определении геометрических характеристик также необходимо рассматривать приведенное сечение, учитывающее разномодульность древесины усиливаемого и усиливающих элементов.

В работе [5] экспериментально подтверждены формулы для определения несущей способности цилиндрических нагелей  $T$ . Так, например, для рассматриваемых случаев усиления по рисунку 2:

а) из условий смятия более тонкого элемента односрезных соединений:

$$T_a = k_a \cdot a \cdot d \cdot R_{см.а} \quad (5)$$

б) из условий смятия более толстого элемента односрезных соединений:

$$T_c = k_c \cdot c \cdot d \cdot R_{см.с} \quad (6)$$

где  $R_{см.с}$ ,  $R_{см.а}$  – расчетные сопротивления древесины при смятии в отверстии для элементов с толщиной  $c$  и  $a$  соответственно;

$k_a$ ,  $k_c$  – числовые коэффициенты, характеризующие степень использования нагельного гнезда в каждом элементе.

Для общего случая числовые коэффициенты  $k_a$  и  $k_c$  зависят от соотношений  $a/c$  и  $R_{см.а}/R_{см.с}$ . Формулы для определения расчетной несущей способности связей  $T$ , изложенные в СП [4], для удобства выполнения практических расчетов были получены путем ряда упрощений разработанных методик вышеперечисленных авторов. При этом в отличие от формул СП [4], в формулах (5), (6) четко прослеживается зависимость значения  $T$  от значений  $R_{см.с}$  и  $R_{см.а}$ . Вопрос смятия древесины в отверстиях, образованными нагелями круглого поперечного сечения, является достаточно изученным. Вместе с тем проведение пилотных испытаний в рамках исследования работы древесины на смятие в отверстиях жесткими штампами связей витой формы крестообразного поперечного сечения показали, что значения  $R_{см}$  при использовании нагелей круглого и крестообразного поперечного сечения витой формы, различны. Однако какие-либо данные о фактической работе древесины на смятие в отверстиях жесткими штампами витой формы крестообразного сечения в нормативно-технической базе и другой доступной литературе отсутствуют.

Обратимся к вопросу определения несущей способности  $T$  из условий изгиба цилиндрического нагеля. Согласно [5]:

$$T_{II} = k_{II} \cdot d^2 \cdot \sqrt{R_{см} \cdot R_T}, \quad (7)$$

где  $k_{II}$  – числовой коэффициент, определяемый той или иной схемой исчерпания прочности соединения с образованием по длине нагеля пластических шарниров;

$R_T$  – предел текучести стали;

$R_{см}$  – расчетное сопротивление древесины смятию в нагельном гнезде.

Безусловно, несущая способность соединений из условий изгиба нагеля зависит от его поперечного сечения. В формуле (7) геометрические характеристики поперечного сечения учитываются при определении  $k_{II}$ , следовательно, значения этого коэффициента для круглого и крестообразного поперечного сечения витой формы будут различны. Следует отметить, что и для данной формулы методика

определения значения  $R_{cm}$  для витых крестообразных нагелей в нормативно-технической литературе отсутствует.

На основании изложенного, для широкомасштабного внедрения стальных витых крестообразных нагелей в практику выполнения и конструирования соединений и узлов как при усилении эксплуатируемых, так и при проектировании новых деревянных конструкций необходим всесторонний детальный анализ самих нагелей, древесины в зоне контакта и различных соединений с их использованием.

#### *Список литературы*

1. Аркаев М.А., Жаданов В.И., Столповский Г.А., Украинченко Д.А., Лисов С.В. Усиление деревянных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений (монография). Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. - 176 с.

2. Аркаев М.А., Столповский Г.А., Шмелев К.В., Сергеев М.И. Способы усиления стержневых деревянных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Вестник Оренбургского государственного университета. - №5. - 2013. - С. 158-163

3. Аркаев М.А. Огир А.Ю. О недостатках механических связей нагельного типа в деревянных конструкциях. // Строительная наука-2014: теория, образование, практика, инновации. Архангельск: Изд-во ООО "Типография "ТОЧКА", 2014. - С. 23-27.

4. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции.

5. Дмитриев П.А. Экспериментальные исследования соединений элементов деревянных конструкций на металлических и пластмассовых нагелях и теория их расчета с учетом упруговязких и пластических деформаций. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. - Новосибирск: НИСИ, 1975. - 529 с.

