

УДК 624.011

## **Напряжения поперек волокон в соединениях конструкций из клееной древесины**

**Клименко В.З., к.т.н.**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

**Анотація.** Напруження поперек волокон порушують збігання внутрішнього силового поля зі структурною будовою деревини, утвореною природою для сприйняття зовнішніх силових дій. Локальна концентрація поперечних напружень в зоні з'єднань формує напружений стан клеєної деревини, при якому внаслідок анізотропії її міцності опір матеріалу різко знижується. Це ускладнює дотримання в конструкціях з клеєної деревини принципу рівномірності їхніх частин: елементів і з'єднань.

**Аннотация.** Напряжения поперек волокон нарушают совпадение внутреннего силового поля со структурной организацией древесины, созданной природой для восприятия внешних силовых воздействий на растущее дерево. Локальная концентрация поперечных напряжений в зоне соединений формирует напряженное состояние клееной древесины, при котором вследствие анизотропии ее прочности сопротивление материала резко снижается. Это затрудняет выполнение в конструкциях из клееной древесины принципа равнопрочности отдельных частей: элементов и соединений.

**Abstract.** Stresses perpendicular to the grain violate coincidence of internal force field with the structural framework of wood created by nature for the perception of external forces acting on the growing tree. Local concentration of transverse stresses in the stress area forms a stress state of glued laminated timber, in which due to anisotropy of its strength the material resistance slumps. This makes it difficult in the glued laminated timber constructions to perform the principle of equal strength of their parts: of elements and connections.

**Ключевые слова:** напряжения поперек волокон, равнопрочность соединений и элементов.

**Состояние вопроса.** Из двух основных функций соединений как подсистем в более сложных технических системах (конструкциях, сооружениях) – системообразующей и передачи усилий от одних элементов другим – вторая формирует напряженное состояние соединений. При передаче усилий в соединениях происходит искривление потоков напряжений. Вследствие анизотропии строения древесины напряженное состояние элементов в зоне соединений существенно отличается от их напряженного состояния по длине элементов между соединениями. Это физическое явление – искривление потока усилий – затрудняет техническое решение соединений по обеспечению их равнопрочности соединяемым элементам конструкций (сооружений). Рассматриваемое физическое явление сопровождается появлением напряжений поперек

волокон древесины, чему она сопротивляется очень слабо. В современных конструкциях (сооружениях) из клееной древесины при больших усилиях в элементах проблема равнопрочности всех их частей более актуальна, чем в традиционных деревянных конструкциях, хотя в них она тоже присутствовала. Пожалуй, единственным исключением, когда не происходит искривление потока усилий, является соединение сжатых элементов продольным лобовым упором. В ортогональном лобовом упоре надо увеличивать площадку смятия поперек волокон. Во врубке под углом надо избегать появления отдирающих напряжений и предусматривать аварийную связь и т. п.

Примером отличия напряженно-деформированного состояния древесины в зоне соединения и в элементах является широко применяемое соединение на гладких цилиндрических нагелях. Речь идет не о неравномерности деформаций смятия древесины в отверстии по длине нагеля. Здесь рассматривается смятие древесины под нагелем по контуру отверстия, которое чрезвычайно неравномерно: от смятия вдоль волокон до смятия практически поперек волокон. Эти деформации вызывают неоднородное напряженное состояние древесины в зоне соединения. Следствием этого является снижение прочности древесины в зоне соединения по сравнению с прочностью в элементах. Это нашло отражение в значениях расчетного сопротивления смятию древесины нагельного гнезда.

Развитием этого соединения стало соединение на клеенных нагелях из арматурной стали (предложение КИСИ). Интегральное сопротивление древесины нагельного гнезда за счет включения в работу ее с растянутой стороны возросло, но не изменило неоднородного напряженного состояния. Напряжения под углом к направлению волокон со стороны растянутой зоны отверстия усугубляют, по сути, сложное напряженное состояние древесины в зоне соединения.

Поиски новых соединений привели к соединению системы ЦНИИСК с использованием наклонно к волокнам древесины клеенных стальных стержней. Наклонная ориентация стержней согласуется с пространственным расположением древесного вещества – фибрилл – в стенках трахеид. Благодаря совпадению структуры древесины на уровне микростроения с направлением усилий, передаваемых от наклонно установленных стержней, анизотропия прочности древесины меньше сказывается в соединении. Соединение системы ЦНИИСК в большой мере позволяет решить проблему равнопрочности соединений и соединяемых элементов. Новый вид соединения подтвердил мнение ученых о том, что резервы прочности древесины надо искать на уровне ее микростроения.

Сложное напряженное состояние древесины в зоне клеевого соединения с зубчатыми шипами вынуждает ограничивать или даже отказываться от этого соединения в конструкциях из клееной древесины.

Вначале – небольшой экскурс в историю деревянных конструкций для ознакомления с поперечными деформациями в соединениях с дискретными механическими связями.

**Соединение на гладких кольцевых шпонках.** *Примеры конструкций.* Деформации поперек волокон древесины проявили себя (и, в значительной мере, неожиданно) раньше в соединениях элементов и позже в самих элементах. Такими соединениями стали узлы на гладких кольцевых шпонках, которые начали применять в конструкциях из досок взамен брусчатых конструкций на врубках. Пролет ферм покрытый достигал 25 м (рис. 1) [1]. Соединения были включены в технические условия проектирования и возведения деревянных конструкций и сооружений, изданные в 1931 г.

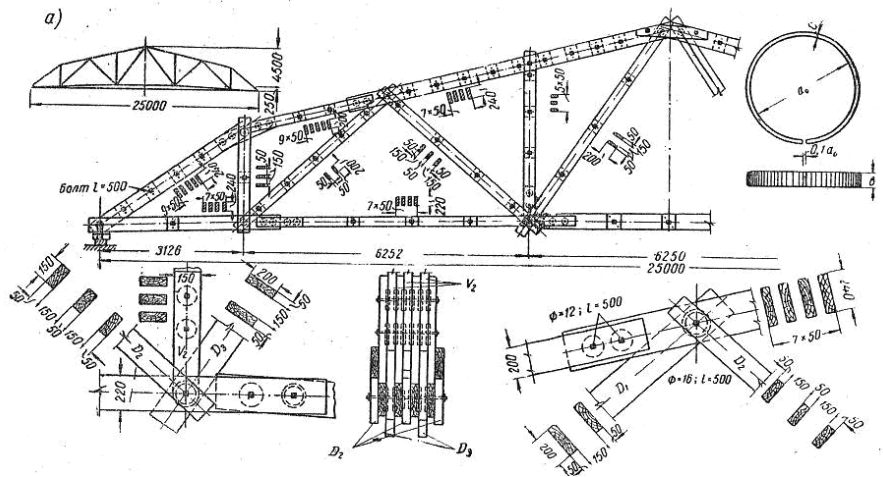


Рис. 1. Ферма на гладких кольцевых шпонках

В [2] приведен пример односкатной фермы пролетом 35 м над театральным залом (1940 г.) с узловыми сопряжениями на гладких кольцевых шпонках и лобовых врубках с вкладышами (рис. 2).

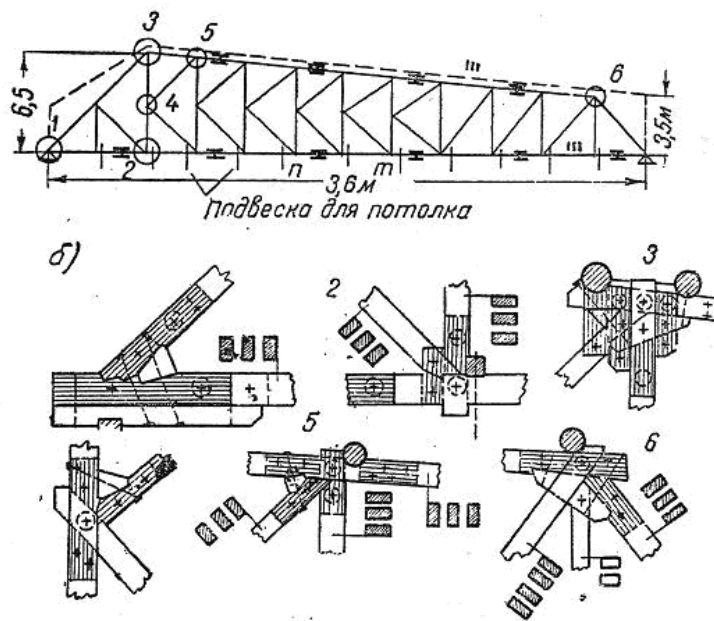


Рис. 2. Ферма покрытия театрального зала

В обоих приведенных первоисточниках наряду с разнообразными схожими причинами разрушения или ухудшения технического состояния конструкций (некоторые причины наблюдаются и в современных деревянных конструкциях) отмечена одна общая причина, правда, как-то мельком – не так обстоятельно, как другие причины. В [1] упоминается ненадежная работа нижнего пояса, а в [2] сказано несколько конкретнее: *«фактическая неравномерность распределения усилий между сечениями отдельных элементов ферм является, главным образом, следствием поперечного изгиба их, который возникает не только в сжатых, но и в растянутых элементах»*.

**Работа соединения на гладких кольцевых шпонках.** В заключении упомянутой работы [2] образование трещин в концах растянутых элементов решетки ферм и поперечный изгиб досок нижних поясов объясняется возникновением поперечных усилий. Влияние поперечного изгиба оказывается решающим в комплексе причин разрушения узлов и растянутых стыков (упоминаются усушка древесины, частично защемление элементов в узлах и пр.) А во введении [2] говорится, что опыт строительства позволяет констатировать то, что проектирование конструкций проводится *«без необходимого специального учета специфических свойств дерева»*.

В учебнике [3], как результат экспериментальных исследований и материалов обследования и анализа аварий конструкций, дается заключение о том, что растянутые сопряжения на гладких кольцевых шпонках имеют «меньший запас прочности» по сравнению со сжатыми сопряжениями. Далее цитата: «Это может быть объяснено более неблагоприятной работой на скалывание сердечника и элемента между шпонками в растянутых стыках, так как в этом случае действия сил они работают на одностороннее разнозначное скалывание (рис. 3, а); в сжатых же сопряжениях имеет место более равномерное распределение скалывающих напряжений (рис.3, б) благодаря так называемому встречному или промежуточному (однозначному) скалыванию». Автор не берется обсуждать приведенную характеристику работы двух сопряжений, не владея представлением о физическом содержании подчеркнутых в цитате определений.

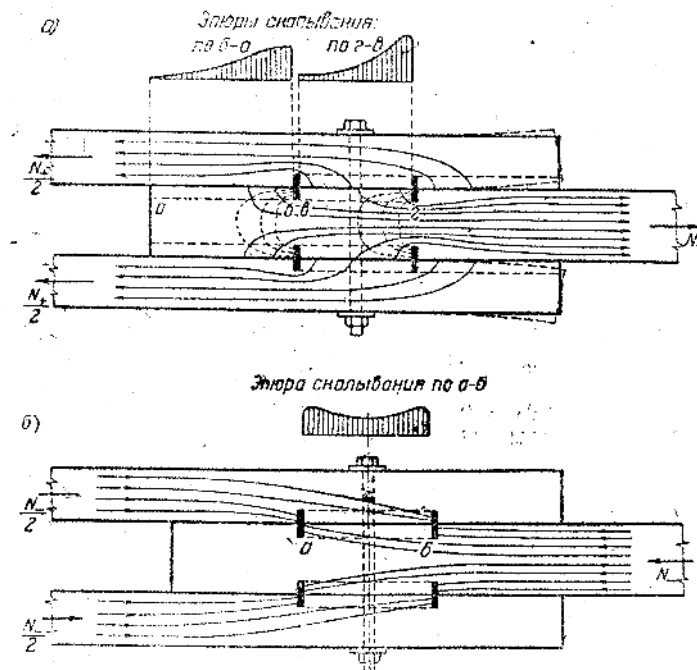


Рис. 3. Работа растянутого (а) и сжатого (б) сопряжения на гладких кольцевых шпонках

Разная работа растянутого и сжатого сопряжений вызвана разной передачей потока усилий от среднего элемента на крайние. В растянутом сопряжении на участках правее сечений *в-в*, а в среднем элементе – левее этих сечений, происходит раскладывание потока напряжений на

касательные (скалывания) вдоль волокон и ортогонально направленные к ним. В местах концентрации касательных напряжений развиваются сопутствующие им поперечные напряжения растяжения. Под их воздействием происходит изгиб концов крайних элементов и раскалывание древесины (на рис. 3, *a* показано пунктиром). В среднем элементе подобное физическое явление происходит в стесненных условиях. В узловых соединениях ферм с раскосами происходило растрескивание концов растянутых раскосов (на это неоднократно обращено внимание в [2] и [5]).

В сжатом сопряжении нет резких пиков по длине площадок скалывания и развиваются поперечные напряжения сжатия, чему древесина сопротивляется гораздо сильнее. Предел прочности древесины при сжатии поперек волокон составляет 5 МПа, тоже при растяжении –  $1 \div 1.4$  МПа (для трех сортов клееной древесины).

В [4] рассмотрена работа в узлах нижнего пояса фермы на кольцевых шпонках (рис. 4). Происходило искривление растянутых стержней (рис. 4, *a*) раскосов, то есть физическое явление, аналогичное тому, что происходит в растянутом сопряжении. Объяснять работу узла влиянием «поперечных эксцентриситетов» (это определение из [4]) недостаточно. При передаче усилий  $V/2$  от стержней на нижний пояс появляются поперечные усилия  $Q$  (рис. 4, *б*), изгибающие стержни решетки. Наблюдаемое растрескивание стержней происходит от неблагоприятного для древесины сочетания напряжений  $\tau$ , поперечных к направлению волокон  $\sigma_{90}$ , одновременно с напряжениями растяжения вдоль волокон. Предотвращение сложного напряженного состояния древесины растянутых стержней в зоне узла достигается постановкой стяжных болтов между ветвями стержней.

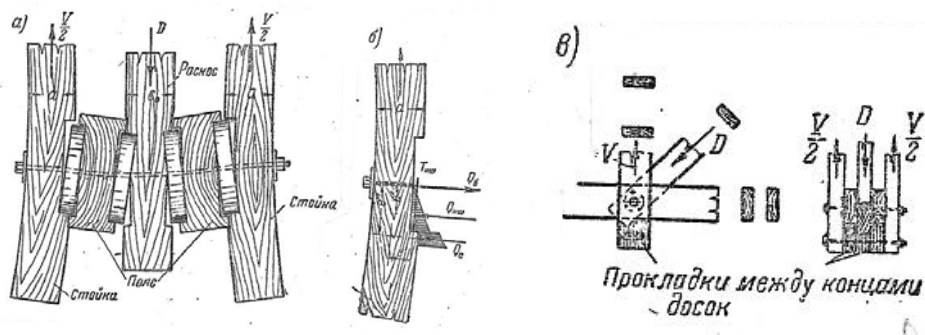


Рис. 4. Узел нижнего пояса фермы на кольцевых шпонках

**Клеевые нахлесточные соединения.** Из литературы, посвященной клеевым соединениям, автор остановился на книге [5], в которой дано обобщение первых исследований. В [5] рассматривается молекулярный механизм образования и структура клеевого соединения, а также его адгезионная и когезионная прочности. Основное внимание уделено прочности соединения при сдвиге. В контексте статьи приведем из [5] две расчетные схемы соединений (рис. 5). Одно из первых приближенных решений теоретического распределения касательных напряжений по длине клеевого шва со ссылкой на<sup>1)</sup> соответствует расчетной схеме «а» на рис. 5. Другое решение – со ссылкой на<sup>2)</sup> – соответствует расчетной схеме «б» на рис. 5.

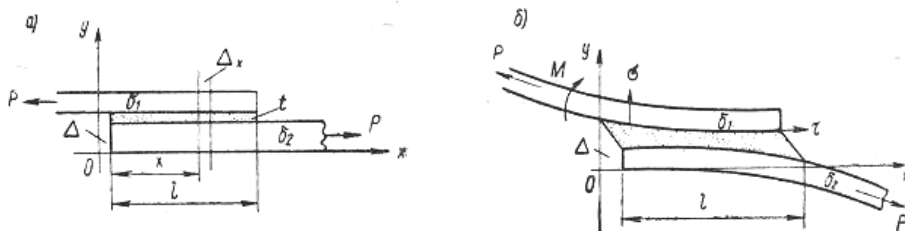


Рис. 5. Расчетные схемы клеевых соединений

Подробно на решениях, полученных по двум расчетным схемам, не останавливаемся. Их принципиальное отличие состоит в том, что в схеме б) присутствует изгиб от эксцентриситета приложенных растягивающих усилий и в решении по<sup>2)</sup> учитывается действие отрывающих напряжений (терминология первоисточника). Максимальные напряжения отрыва зависят от изгиба нахлестки в большей мере, чем напряжения сдвига. При отсутствии изгиба решение из<sup>2)</sup> неприменимо.

По теме статьи решение по схеме б) интересно тем, что в нем учитываются поперечные напряжения, которые в случае жестких нахлестов сохраняются, изменяя физическое содержание работы соединения.

**Соединения с парными накладками на клею** Первые исследования растянутых соединений, показанных на рис. 6, а, проводились А.Б. Губенко [6]. Они получили название соединения с парными накладками, работающими на двухстороннее скалывание.

<sup>1</sup> Volkersen O. Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten. Luftfahrtforschung. 15 (1938). 1/2. S. 41-47.

<sup>2</sup> Goland M., Reissner E. The stresses in cemented joints. Journal of Applied Mechanics. Transactions of ASME, 1944. V. 11. № 1. March. p. A17-A27.

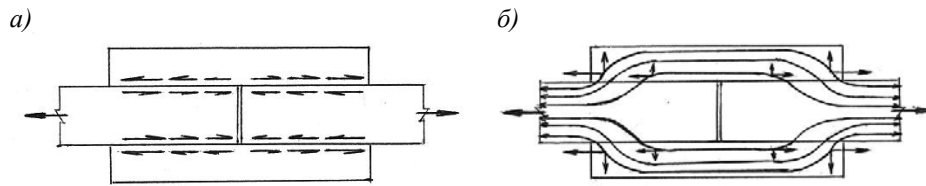


Рис. 6. Соединения с парными накладками на клею  
а – по Губенко А.Б.; б – по Михайлову В.Г.

Видимый характер разрушения – смещения одной части соединяемого растянутого элемента относительно другой – дал повод охарактеризовать соединение как работающее на скалывание из предположения, что причиной разрушения является сдвиг по клеевому соединению. Длина клеевого шва с каждой стороны назначалась из условия равнопрочности соединения на сдвиг и элемента на растяжение. Эксперимент показал, что разрушение клеевого соединения происходило при усилиях, составляющих 40÷60 % от прочности элемента. Условие равнопрочности соединения и элемента не выполнялось. Стабильность экспериментальных результатов свидетельствовала об ином физическом явлении, происходящем в соединении.

Оно было установлено в исследованиях Михайлова В.Г. [7]. На участках перехода потока внутренних усилий от соединяемых частей элемента на наклейки появляются напряжения скалывания вдоль волокон и поперечные напряжения (рис. 6, б). Сгущение потока усилий у начала парных накладок создает в этих местах концентрацию касательных и поперечных напряжений и предпосылку к началу раскалывания древесины накладок. Исследования показали, что разрушение соединений начиналось с появлением продольных трещин в накладках, с их изгибом и последующим раскалыванием древесины. Соединения лишь условно можно считать работающими на скалывание. Подробно на результатах исследований В.Г. Михайлова здесь не останавливаемся. Отметим, что ему принадлежит несомненный приоритет в том, что он утверждал о зависимости прочности соединений от совместного действия напряжений вдоль и поперек волокон и касательных. Он сформулировал задачу прочности соединений при сложном напряженном состоянии. Он отметил, что само по себе знание характера распределения напряжений еще не дает возможности судить о прочности соединений. Отсутствие в то время расчета в условиях СНС древесины вынудило ограничиться введением коэффициента  $m_r = 0,62$  к расчетному сопротивлению древесины на скалывание, сохранив принятый метод расчета соединений. При качественном клее и соблюдении технологических регламентов



адгезионная прочность соединения должна превышать когезионную прочность древесины поперек волокон из-за отсутствия в ее строении прочностных структурных образований в древесном веществе. В эволюционном развитии строения стволов деревьев в образовании таких структурных элементов не было необходимости.

Для повышения прочности соединений с накладками надо создать противодействие касательным и поперечным напряжениям на участках их концентрации. В зависимости от величины поперечных напряжений можно ограничиться стяжными болтами, как на рис. 7, а), или применением уголков, как на рис. 7, б). При больших усилиях вариант усиления растянутого стыка с обжимными клиньями, предложенный проф. Ю.М. Ивановым, показан на рис. 7, в).

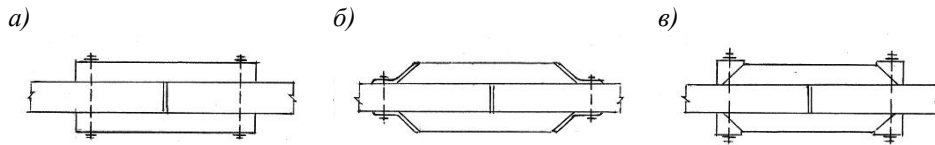


Рис. 7. Конструктивные меры по повышению прочности растянутых стыков

Узлы, однотипные соединению на рис. 8, а), и узлы на рис. 8, б) могут воспринимать изгибающий момент. Наклонные стяжные болты и траверсы из уголков «сглаживают пики» концентрации напряжений  $\tau$  и  $\sigma_{90^\circ}$ .

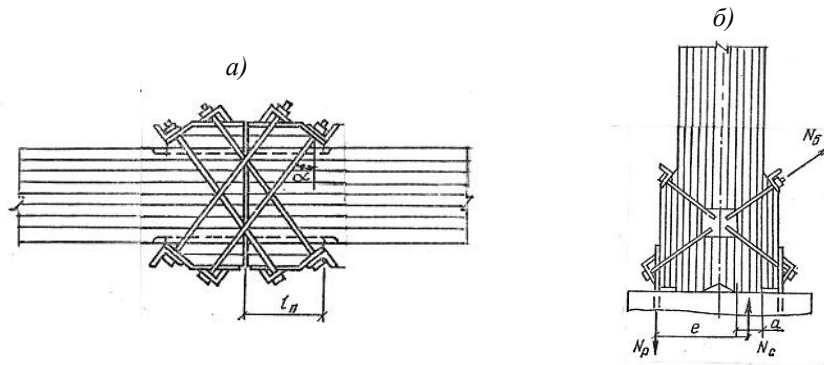


Рис. 8. Сборно-разборные узлы в конструкциях из клееной древесины  
а – растянутый стык; б – жесткое закрепление колонны к фундаменту

**Соединение на зубчатый шип.** Соединение нашло применение для сращивания досок до длины в многослойных пакетах при изготовлении клееной древесины, а так же для соединений отдельных элементов и укрепительной сборки в карнизных узлах рам из прямолинейных стоек и

ригеля. Соединение считалось равнопрочным древесине соединяемых элементов. Оказалась, что это мнение о нем ошибочное. В многослойном пакете из досок неравнопрочность зубчатых шипов на клею древесине досок не отразилась на интегральной прочности элементов так заметно, как в узловых сопряжениях массивных элементов. Основной причиной разрушения типовых прямолинейных рам стала недостаточная прочность карнизных узлов в зоне зубчатого соединения, расположенного по диагонали в сечении с максимальным изгибающим моментом. Позже этот факт специалистами был охарактеризован как несоответствие принципу равнопрочности отдельных частей конструкций из клееной древесины.

Неравнопрочность зубчатого шипа на клею прочности монолитной клееной древесины обусловлена своеобразным напряженным состоянием древесины в зоне зубчатого шипа. Неравнопрочность вызвана двумя факторами. Первый фактор состоит в том, что изготовление крупноразмерных зубчатых шипов в массивных элементах сопровождается затуплением острых зубцов, что вызывает ослабление поперечного сечения и концентрацию напряжений в основании зубцов. Этот фактор легко учитывается в расчетах и является второстепенным по сравнению со вторым фактором, который состоит в том, что в зоне зубчатого шипа формируется сложное напряженное состояние древесины, вызванное появлением напряжений вдоль плоскостей шипов и перпендикулярно к ним<sup>3</sup>).

Экспериментальные исследования показали, что прочность соединений при растяжении составляет 60÷65 % прочности клееной древесины в элементе. По теме статьи интересен также результат экспериментальных исследований балок: установлено, что разрушение их начиналось в зубчатых стыках, расположенных в растянутой зоне сечения ближе к нижним кромкам балок, то есть там, где появляются растягивающие напряжения  $\sigma_{90}$  по плоскостям шипов. Для выявления напряженного состояния зубчатого соединения были проведены комплексные исследования [8], включающие испытания деревянных образцов с зубчатым соединением и такого же соединения из оптически чувствительного материала поляризационно-оптическим методом. Установлено, что прочность соединения в деревянных образцах существенно зависит от

---

<sup>3</sup> Первые исследования клеевых зубчатых соединений были проведены под руководством инженера Г. Кольба. Он экспериментально установил, что при изгибе соединение имеет плоское напряженное состояние: наряду с изгибными напряжениями вдоль длины элемента действуют напряжения сжатия или растяжения поперек волокон древесины, зависящие от направления изгибающего момента и продольного усилия.

вида клея. Соединения на малоусадочных клеях более прочные, что подтверждает влияние на прочность поперечных напряжений, которые в соединениях на таких клеях гораздо меньше по величине по сравнению с поперечными напряжениями при сильно усадочных клеях. Это интересный результат с позиции технологии изготовления соединений.

Снижение прочности зубчатых соединений клееной древесины наблюдалось в разных исследованиях и этот факт можно считать феноменологичным для зубчатых соединений на клею. С позиции СНС материала в зоне зубчатого соединения, результаты исследования в [8] соединения из оптически чувствительного материала чрезвычайно интересны.

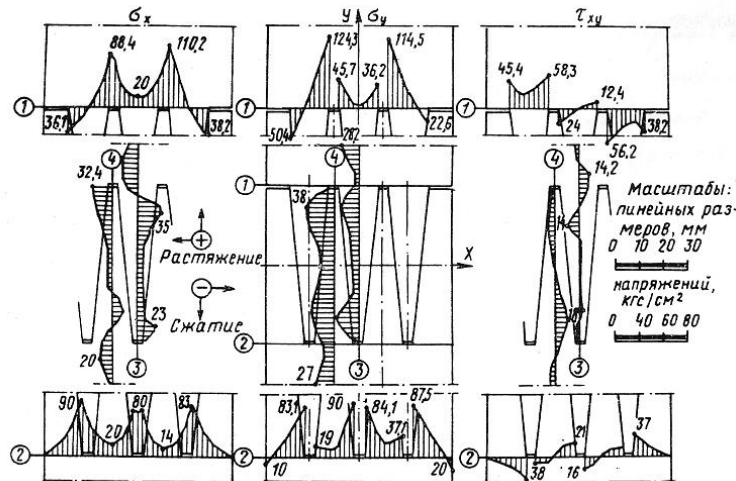


Рис. 9. Напряжения в растянутом зубчатом соединении, полученные методом фотоупругости

На рис. 9 показаны эпюры напряжений в наиболее характерных сечениях зоны соединения: вдоль образца  $\sigma_y$  и поперек образца  $\sigma_x$ , в сечениях 1 и 2, проходящих через вершины шипов; касательных  $\tau_{xy}$  по длине зубьев в сечениях 3 и 4. Поперечные напряжения  $\sigma_x$  одного порядка с продольными напряжениями  $\sigma_y$ . С учетом анизотропии прочности древесины появление таких поперечных напряжений в зубчатом соединении очень опасно. Характер распределения касательных напряжений  $\tau_x$  по длине зубьев однотипный тому, что наблюдалось в соединениях с парными накладками. Происходит концентрация  $\tau_{xy}$  ближе к вершинам зубьев, их величина составляет  $[(38+35)/2]/[(124,3+90)/2]=0,31-31\%$  от напряжений растяжения

вдоль образца. Для сравнения: нормативная прочность древесины 1-го сорта при скалывании вдоль волокон составляет от растяжения вдоль волокон 3,6/20–18 %. Этим объясняется опасность концентрации касательных напряжений.

В [8] сделан вывод о том, что на прочность зубчатых соединений влияет *неоднородность напряженного состояния*. В этой работе, как и во всех публикациях того времени, почему-то не появлялось определение напряженного состояния как сложного (плоского).

Зубчатое соединение в карнизных узлах рам – характерный пример несовпадения внутренних потоков напряжений в элементах (стойках и ригеле) со структурой древесины по плоскостям шипов при переходе потоков напряжений от одного элемента на другой. Объективно это соединение бесперспективно в рамных конструкциях из клееной древесины.

Равнопрочное клееной древесине зубчатое соединение растянутого элемента может быть получено путем изменения высоты сечения (рис. 10) с таким расчетом, чтобы напряжения вдоль волокон в зоне соединения не превышали  $0,6 R_p$ , с парными листовыми накладками на клею, благодаря которым «смягчается» влияние напряжений  $\tau_{из}$  и  $\sigma_{90}$  в зоне соединения. Решение требует экспериментального исследования по установлению размеров высоты сечения и длины этого участка.

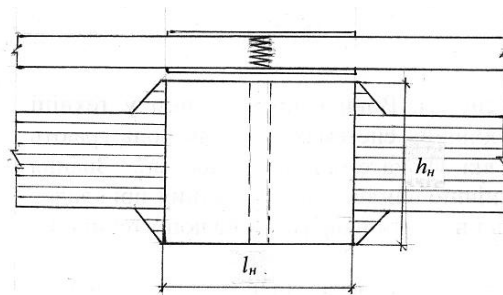


Рис. 10. Равнопрочное растянутому элементу зубчатое клеевое соединение

Опыт эксплуатации рам свидетельствовал, что их применение нецелесообразно. Сложное напряженное состояние клееной древесины в зоне карнизного узла усугубляется по сравнению с растянутым соединением большим изгибающим моментом. Разрушение в карнизных узлах рам начиналось задолго до достижения граничной расчетной нагрузки на раму. Начиналось разрушение ближе к наружной кромке узла из-за раскалывания древесины (рис. 11).

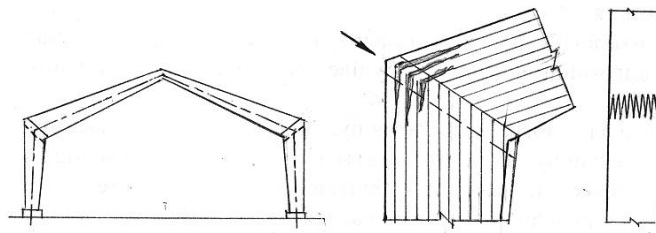


Рис. 11. Рама из прямолинейных элементов и характер разрушения карнизного узла

Выполнение принципа равнопрочности частей рам требует перехода на механические конструкции карнизного узла, в которых растягивающее усилие по наружной кромке и сжимающее по внутренней кромке воспринимаются металлическими деталями узлов. Предложено большее разнообразие механических конструкций узлов в зависимости от расчетных усилий в них.

*Некоторое обобщение.* Определяющими прочностные рассмотренных клеевых соединений оказываются напряжения растяжения поперек волокон древесины. Их неизбежность позволила проф. Ю. М. Иванову в [9] высказать требования о том, что конструкции с подобными соединениями не должны рекомендоваться к применению. Под это требование полностью попадают прямолинейные рамы с зубчатым соединением в карнизном узле. Но, наверное, неправильно распространять запрещение, полное или частичное, на все конструкции из клееной древесины, принимая во внимание, что напряжения поперек волокон появляются всегда вследствие природного строения древесины. В соединениях конструкций надо искать новые решения, в которых влияние поперечных напряжений снижается. Таким решением в эволюционном ряду соединений является соединение на стержнях, вклеенных наклонно к волокнам древесины.

#### **Соединения на наклонно вклеенных стержнях системы ЦНИИСК.**

*Структура древесины и ее прочность.* В учебнике [10], в § 1.8 содержится фундаментальное, по мнению автора статьи, замечание следующего смысла. Говорится, что существующие в настоящее время (1986 г.) методы расчета прочности древесины на скалывание и раскалывание имеют два существенных недостатка:

1. нет стандартного метода экспериментального определения прочности древесины при одновременном действии касательных и нормальных к направлению волокон напряжений;

2. не внедрена предложенная Б.А. Освенским теория, раскрывающая зависимость прочности древесины от соотношения касательных и поперечных напряжений, увязанная с анатомическим строением древесины (сосны).

Физическая суть теории Б.А. Освенского [11] в следующем. Суммы слоев одинаковых по ориентации микрофибрилл в стенке клеток трахеид сосны заменены эквивалентными стержнями, и в итоге получена стержневая имитация микроструктуры сосны. Последнюю можно рассматривать как стержневую конструкцию. Приложив в ее узлах усилие растяжения  $N_\alpha$  под углом к продольной оси стержневой системы (это то же самое, что угол наклона усилия к волокнам древесины), исходя из очертания системы в деформированном состоянии с учетом модулей упругости и сдвига древесины, установлена прочность микрофибрилл под любым углом  $\alpha$ .

Теория Освенского Б.А. актуальна тем, что она отвечает современным воззрениям о поисках резервов прочности материалов на уровне их микростроения. Это неотъемлемая составляющая философии техники в ее приложении к такому неоднородному по структуре материалу, каким является древесина.

*Естественные основы соединения на наклонно вклеенных стержнях.* Прочностными структурными элементами древесного вещества являются фибриллы. Угол наклона спиральных скоплений фибрилл относительно оси ствола дерева в ранней древесине, занимающей 70÷75 % площади годового слоя, составляет 29,2°, то же в поздней – 17,3°, по [11]<sup>4</sup>. Максимальные сопротивления разрыву отдельных составляющих годовых слоев пропорциональны содержанию в них древесного вещества и углу наклона. Справедливо предположить, что суммарная прочность разрыву находится в промежутке между прочностями ранней и поздней древесины при угле наклона усилия  $N_\alpha$   $17,3^\circ < \alpha_{opt} < 29,2^\circ$ .

Используя физическую суть теории Б.А. Освенского, автор представил структуру годового слоя двумя ему эквивалентными стержневыми системами с наклоном раскосов в них 17,3° и 29,2° [12]. Направление геометрической равнодействующей двух усилий составило  $\alpha_{opt} = 26^\circ$ . Подробно об этом в [12]. В экспериментальных исследованиях [13] разрушение соединений с наклонными вклеенными стержнями происходило от максимального усилия при  $\alpha \approx 30^\circ$ .

---

<sup>4</sup> Эти сведения взяты из [10] со ссылкой: Баженов В.А. К вопросу о линиях скольжения во вторичном слое клеточных оболочек / труды института леса АН СССР. 1940. Т.IV.

*Практическое применение соединения на наклонно клеенных стержнях.*  
В нормах проектирования деревянных конструкций содержались соединения на клеенных вдоль волокон стержнях в торцах элементов. Эти соединения не были равнопрочными соединяемым элементам. Соответственно природной структуре древесины вокруг стержней по их длине развивались напряжения растяжения поперек волокон с их концентрацией ближе к торцам элементов. С учетом опасности таких напряжений в [14] появилось требование в п. 5.10: «Не допускается использовать такие соединения, если действует помимо усилия  $N$ , усилие  $Q$ , вызывающее краевые отрывающие или расщепляющие напряжения поперек волокон свыше 0,3 МПа. В этом случае следует использовать наклонные клеенные стержни».

В то время новый вид соединения еще находился в стадии исследования, но уже применялся в экспериментальном строительстве, подтвердив свою возможность решить проблему равнопрочности всех частей конструкций. Сейчас соединение системы ЦНИИСК широко применяется в большепролетных конструкциях из клееной древесины [15] (рис. 12).

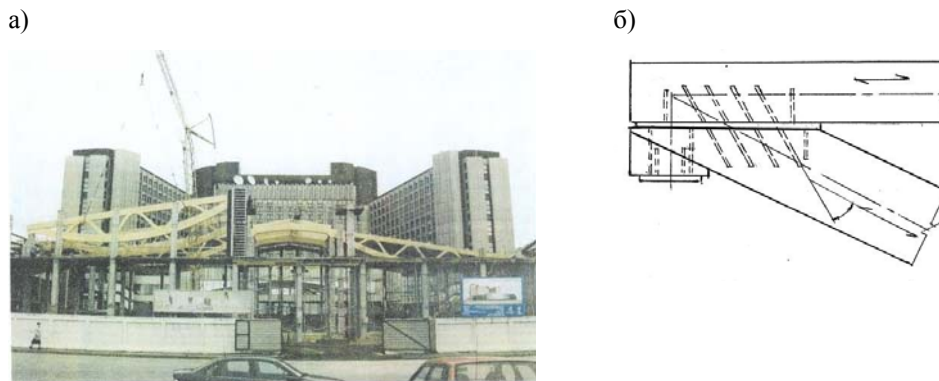


Рис. 12. Строительство аквапарка в Санкт-Петербурге (а) и принципиальная схема конструкции опорного узла фермы покрытия (б)

## Выводы

Напряжения поперек волокон древесины, чему она сопротивляется очень слабо, обычны в соединениях при передаче усилий от одного элемента на другие. Биологическая структура древесины обеспечивает максимальное ее сопротивление одновременному действию поперечных и касательных к волокнам напряжений при угле наклона внутреннего усилия примерно  $30^\circ$  к направлению волокон.

Решение проблемы равнопрочности системообразующих узлов и элементов в современных конструкциях из клееной древесины привело к созданию соединения на наклонно вклеенных стержнях. При угле наклона стержней  $\approx 30^\circ$  к продольной оси элемента достигается максимальная несущая способность соединения. Новый вид соединения с использованием высокой относительной прочности клееной древесины позволяет создавать конструкции для перекрытия больших пролетов.

### **Литература**

- [1] Свенцицкий Г. В. Деревянные конструкции. Состояние и перспективы развития / Г. В. Свенцицкий. – М. : ГСИ, 1962. – 115 с.
- [2] Иванов В. Ф. Проблемы долговечности деревянных конструкций / В. Ф. Иванов. – М. : СИ, 1950. – 135 с.
- [3] Карлсен Г. Г. Курс деревянных конструкций : учебник для строительных вузов и факультетов. Часть 1 / [Г. Г. Карлсен и др.] ; под общ. ред. Карлсена Г. Г. – Л. : ГСИ, 1942. – 540 с.
- [4] Карлсен Г. Г. Курс деревянных конструкций : учебник для строительных вузов и факультетов. Часть 2 / [Г. Г. Карлсен и др.] ; под общ. ред. Карлсена Г. Г. – Л. : ГСИ, 1943. – 632 с.
- [5] Хрулев В. М. Прочность клеевых соединений / В. М. Хрулев. – М. : СИ, 1973. – 84 с.
- [6] Губенко А. Б. Клееные конструкции из досок / А. Б. Губенко. – М. : Стройиздат, 1949. – 216 с. – С. 62–68.
- [7] Михайлов В. Г. Скалывания в клееных дощатых стыках / В. Г. Михайлов // Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций : сборник трудов. – М. : ГСИ, 1952. – С. 142–176.
- [8] Славик Ю. Ю. Исследования факторов, снижающих прочность зубчатых клееных соединений древесины / Ю. Ю. Славик, К. Т. Вуба // Производство и повышение качества деревянных клееных конструкций : сборник трудов. – М. : СИ, 1978. – С. 103–110.
- [9] Иванов Ю. М. Длительная прочность древесины при растяжении поперек волокон / Ю. М. Иванов, Ю. Ю. Славик // Строительство и архитектура : известия вузов. – 1986. – № 10. – С. 22–26.
- [10] Слицкоухов Ю. В. Конструкции из дерева и пластмасс : учебник для студентов вузов / [Ю. В. Слицкоухов и др.] ; под ред. Ю. В. Слицкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 543 с. : ил.
- [11] Освенский Б. А. Скалывание и раскалывание в деревянных конструкциях / Б. А. Освенский // МИСИ им. В.В. Куйбышева : сборник трудов. – 1978. – Вып. 169. – С. 3–65.



- [12] Кліменко В. З. З'єднання на похило вклеєних стрижнях у конструкціях із клеєної деревини / В. З. Кліменко // Укр. ін-т сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського : сб. наук. праць. – 2012. – Вип. 10. – С. 229–235.
- [13] Несущие деревянные конструкции // ЦНИСК им В.А. Кучеренко : сб. тр. – М. : СИ, 1985. – 60 с.
- [14] Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) : нормативно-технический материал / ЦНИИСК. – Введ. с 28 ноября 1983 г. – М. : Стройиздат, 1986. – 216 с.
- [15] Турковский С. Б. Обобщение результатов исследований и опыта применения сборных клееных деревянных конструкций системы ЦНИИСКА / С. Б. Турковский //Деревообрабатывающая промышленность. – 2008. – № 3. – С. 12–16.

*Надійшла до редколегії 08.05.2014 р.*