

Результаты исследований новых видов соединений для конструкций малоэтажного домостроения



Лабудин Борис Васильевич - д.т.н., профессор

Мелехов В.И. - д.т.н., профессор
Губенко Л.А. – к.т.н., доцент
Русланова А.В. - аспирант
Орлов А.О. - аспирант
Попов Е.В. - аспирант
Травникова З.И. - магистрант
Касимов К.А. - магистрант
Елуков А.С. - магистрант

г. Архангельск, 2016

Имея колоссальные лесные запасы в северных регионах России, деревянное малоэтажное домостроение остается преимущественным выбором для быстровозводимых конструкций зданий и сооружений.

Дерево является экологически чистым, недорогим материалом, который прост в обработке, имеет высокую прочность, низкую теплопроводность, малый вес, долговечность, отсутствие мокрых процессов при монтаже.



Более того, знание физических и химических свойств древесины говорят о ряде преимуществ при заготовке и строительстве именно в зимний период.

Древесина, заготовленная в зимнее время, содержит меньше влаги и впоследствии она меньше подвергается деформации и растрескиванию.





Пиломатериалы естественной влажности в зимних условиях лучше хранятся: холод препятствует распространению грибка и прочих биологических повреждений, как следствие древесина не потеряет своих качеств и не посинеет, и, соответственно, зимой не обязательно обрабатывать ее антисептиками. За счет меньшей влажности, дома из зимней древесины дают меньшую усадку и не коробятся.



Условно, деревянные дома можно разделить на два типа:

- панельно-каркасные дома (щитовые, модульные);
- дома из массива дерева (из бруса, клеенного бруса, оцилиндрованного бревна и т.п.).



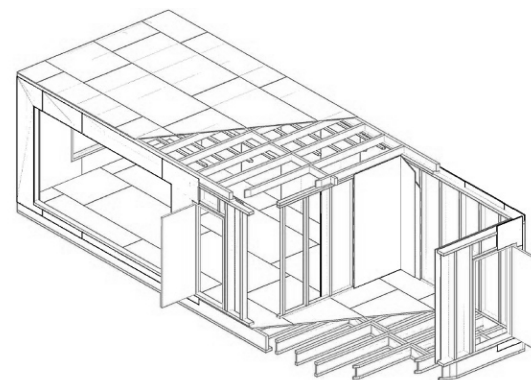
Дома из массива древесины до сих пор остаются в приоритете у населения, но в последнее время становится все популярнее каркасное домостроение.

Каркасное домостроение имеет ряд неотъемлемых преимуществ:

- доступность материальной базы;
- возможность сборки отдельных элементов (панели, модули) в заводских условиях;



*Конструкция модуля
представляет из себя
деревянный каркас из стоек и
балок, заполненный
утеплителем.*



Конструкция модуля на деревянном каркасе

*Внутренней и внешней
обшивкой служат OSB плиты.*



Общий вид здания из объемных модулей



МЕХАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДК

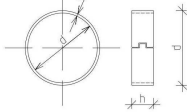
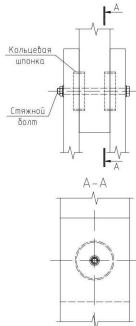
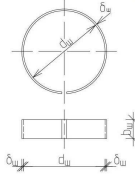
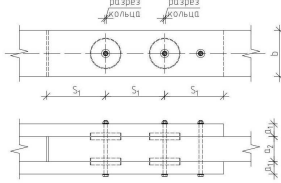
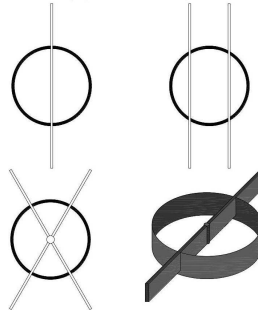
При производстве строительных конструкций решается проблема в обеспечении достаточной (нормативной) прочности, жесткости и несущей способности конструкций зданий и сооружений.

Для этого используются различные типы соединений с применением специальных соединителей типа когтевых шайб, кольцевых шпонок, нагельных групп и т.п.

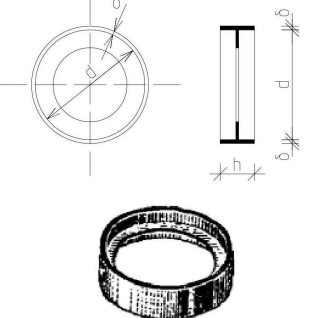
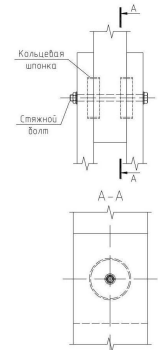
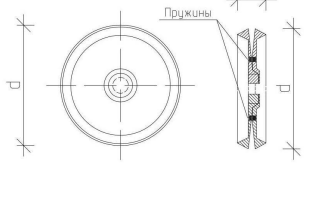
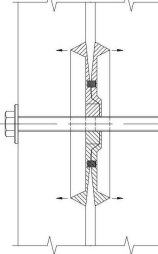
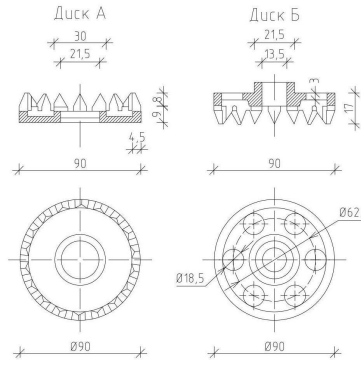
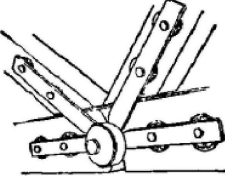
Существующий сортамент когтевых пластин подразумевает различные размеры диаметра, толщины и габаритов когтей в зависимости от необходимой несущей способности и сортамента пиломатериалов. Усилия, передающиеся от сопрягаемых элементов соединения, воспринимаются суммарной площадью внедренных когтей и передается на смежные элементы.

Из большого разнообразия соединений, используемых в деревянных конструкциях, весьма ограниченно применяются соединения на шпонках различных видов, когтевых шайбах Леннова, клеестальных волнистых зубчатых шпонках и шайбах «Bulldog». Эти соединения могли бы широко применяться при изготовлении стропильных ферм, составных балок и колонн, при усилении деревянных конструкций различного назначения.

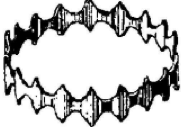

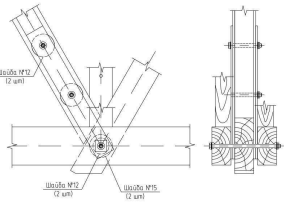
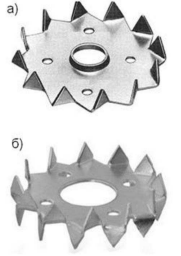
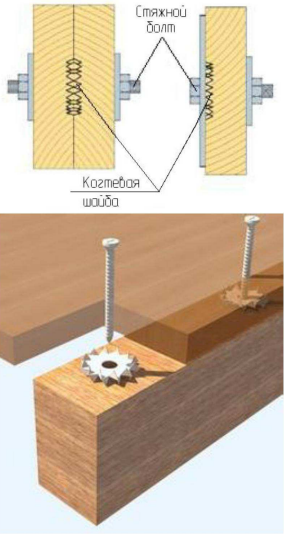


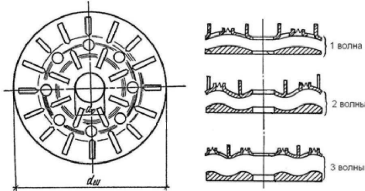
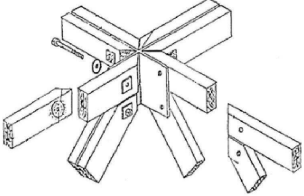
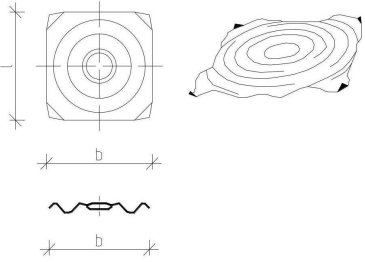

№	Название, схема, источник	Применение	Основные характеристики	Особенности расчета
1	<p>Кольцевые разрезные шпонки фирмы "Тухшерер" [476090]</p> 	<p>Применение</p> 	<p>Кольцевая шпонка выполнена из согнутого в кольцо куска полосовой стали, имеющего на одном конце зуб, который входит в паз, сделанный на другом его конце (рисунок 1). Можно применять шпонки с концами, обрезанными нормально, на ус, треугольный паз или гребень. Во всех соединяемых брусках для вкладывания кольца высверливаются кольцевые желобки по ширине равные толщине полосового железа, а по глубине половине его ширины. Соединение стягивается болтом, проходящим через центр кольца. Сортамент и несущая способность гладких кольцевых разрезных шпонок, применяемых в зарубежном строительстве, приведены в таблице 1.1 [476090]. Соединение на гладких кольцевых шпонках с разрезом отличается малой металлоёмкостью и сравнительной простотой изготовления. В то же время, они не лишены таких недостатков, как повышенная начальная деформативность (ввиду пластичности), затруднительность установок шпонок и контроля за степенью поражения их коррозией.</p>	<p>Особенности расчета</p> $P = \min \begin{cases} 2 \cdot D \cdot b \cdot \sigma_{см} \\ \pi \cdot D^2 \cdot \tau \end{cases}$
2	<p>Гладкие кольцевые шпонки [476092]</p> 	<p>Применение</p> 	<p>Соединения на гладких кольцевых шпонках применялись в основном в узлах и стыках стержневых конструкций, в настоящее время эти соединения имеют незначительное применение. Кольцевые шпонки изготавливались разрезными из полосовой стали прямоугольного сечения. Гнезда для гладких кольцевых шпонок высверливаются в древесине при помощи специальных механизированных приспособлений. Разрезная гладкая кольцевая шпонка вызывает смятие и скалывание как сердечника, так и периферийной части гнезда. Это обеспечивается наличием в шпонке разреза, позволяющего ей несколько деформироваться и приспособиться к гнезду. Разрез шпонки располагается на диаметре, нормальном к направлению усилия, передаваемого шпонкой. Разрез может быть прямым, что упрощает изготовление шпонок. Величина зазора в разрезе принимается обычно равной 0,1 диаметра шпонки dш. Соединения на кольцевых шпонках характеризуются значительной жесткостью работы в направлении вдоль волокон элементов и хрупким видом разрушения от скалывания. Это обуславливает повышенные требования к точности изготовления соединений, к качеству и влажности древесины. Сортамент отечественных гладкокольцевых шпонок приведен в ТУ-2-47 [476092].</p>	
3	<p>Кольцевые шпонки с лопастями фирмы "Дегааль"</p> 		<p>Такая шпонка представляет собой металлическое кольцо, снабжённое двумя или четырьмя стальными пластинами [476090,476091]. В соответствии с величиной расчётного усилия применяют шпонки с одной или несколькими лопастями. При соединении элементов, примыкающих друг к другу под углом, используют шпонки с крестообразно расположенными лопастями. Эти лопасти представляют собой куски полосовой стали с длиной, равной, примерно, тройному диаметру кольца, проходящие через специальные прорезы в его стенке, что существенно уменьшает смятие поперёк волокон. Испытания показали, что кольцевые шпонки, снабжённые двойными лопастями из полосовой стали, разрушаются при нагрузке, значительно превышающей соответствующую нагрузку на шпонки с одиночными лопастями (примерно на 50%).</p>	



<p>4</p>	<p>Тарельчатые шпонки системы «Кристоф и Унмак» [476090]</p> 		<p>Шпонки системы "Кристоф и Унмак" представляют собой чугунные кольца таврового сечения. Вертикальная стенка тавра входит в зазор между двумя соединяемыми брусьями; горизонтальная же полка - в кольцевые желобки, которые выбираются машинным способом. Вертикальная стенка имеет двойное значение: она должна увеличить жёсткость кольца, а также препятствовать его перекашиванию. Усилие передаётся как внешней, так и внутренней цилиндрическими поверхностями кольца, а потому сердечник и внешняя часть бруса работают на скалывание одинаково. Основные параметры и величины допускаемых нагрузок для тавровых кольцевых шпонок приведены в [476090].</p>	<p>При действии нагрузки вдоль оси стержня:</p> $P = \frac{B \cdot D}{2} \cdot 0,85 + 7,5$ <p>При действии нагрузки под некоторым углом φ:</p> $P_{\varphi} = P \cdot (1 - \sin \varphi) + P_1 \cdot \sin \varphi$
<p>5</p>	<p>Пружинящие дисковые шпонки Шульца</p> 		<p>Шпонка состоит из двух связанных друг с другом фасонных дисков, выштампованных из стали таким образом, что они стремятся друг от друга оттолкнуться, т.е. пружинят, а потому ещё до натяжения болтов вдавливаются в кольцевые желобки, выбранные в обоих соединяемых брусках. После натяжения болтов соединение не ослабевает и в случае усушки дерева в направлении болта. Загнутые края дисков также пружинят, вследствие чего, ещё до натяжения болта, они уже плотно прижимаются как к внутренней, так и наружной стенкам желобка; при натяжении болта до полного сближения брусков края шпонки сильно сдавливаются и поэтому, даже в случае усушки древесины, они продолжают сохранять плотное соприкосновение как с внешней частью бруса, так и с сердечником. Даже в том случае, когда желобки вырезаны неточно, эти загнутые края дисков всё же плотно сидят в своих желобках. Практические испытания соединений $d=160$ мм показывали величину разрушающей нагрузки на соединение до 164 кН [476102].</p>	
<p>6</p>	<p>Когтевые шайбы фирмы «Метцке и Грейм» [476056]</p> 		<p>Когтевые шайбы представляют собой парные круглые диски из ковкого чугуна, обсаженные по контуру с одной стороны зубьями – когтями. Эти шайбы изготавливаются разных размеров. Один из дисков снабжён втулкой, которая входит в соответствующее отверстие в другом диске. Сторона, на которой расположены когти шайбы, целиком вбиваются в соединяемые бруска так, что усилие передаётся с одного бруса на другой через указанные втулки. Всё соединение стягивается болтом, проходящим через отверстия в брусках и в центрах шайб. Однако соединения на подобных шайбах отличаются повышенной сложностью и поэтому в современных деревянных конструкциях они не получили широкого применения, несмотря на сравнительно высокую несущую способность.</p>	



7	<p>Шпонки «Аллигатор» [476056]</p> 		<p>Шпонки «Аллигатор» представляют собой замкнутое кольцо из гофрированной стали толщиной 1,2...1,4 мм, вырезанной с обеих сторон острыми фестонами. Устойчивость шпонки обеспечивается цилиндрической жесткостью кольца, сильно ослабленного вырезами фестонов. Это ограничивает диаметр кольца размером до 160 мм. Размеры шайб и болтов определяются как из условия восприятия распора, так и условиями преодоления упругого отпора шпонки при вдавливании шпонки. Величина их нормируется эмпирически [476056]. В предварительно собранной конструкции (или при помощи разметки) в соединяемых элементах предварительно просверливаются отверстия для болтов, далее элементы конструкции нанизываются с прокладкой шпонок на центрирующие болты и запрессовываются. Сортамент шпонок «Аллигатор» и предельные усилия приведены в таблице 2 [476056].</p>	
8	<p>Когтевая шайба Леннова [476038]</p> 		<p>Шайба Леннова представляет собой круглую пластинку, которая снабжена в центре отверстием под центровой болт и из которого выштампованы зубья [476038]. Шайба прессовывается в древесину соединяемых деревянных элементов. Испытания соединений показали высокую несущую способность и, кроме того, выявили практически одинаковую несущую способность шайбы в соединениях вдоль и поперек волокон древесины сосны вследствие дробности передачи осевых нагрузок в элементах из пиломатериалов. Применение когтевых шайб Леннова целесообразно главным образом в сборно-разборных фермах покрытий и других сквозных конструкциях, в которых необходимо крепление раскосов на знакопеременные усилия [476074]. В работе [476072] проведены исследования несущей способности и деформативности стыков растянутых элементов на когтевых шайбах Леннова при совместной работе нескольких шайб, расположенных в одном ряду по направлению действия усилия. Установлено, что по мере удаления ряда от стыка, доля нагрузки на шайбы уменьшается.</p>	
9	<p>Когтевые шайбы «Bulldog» (а – односторонняя, б – двусторонняя)</p> 		<p>Когтевые шпонки «Bulldog» представляют собой круглые пластинки из тонкой (1...1,2 мм) стали с когтями треугольной формы, отогнутыми перпендикулярно плоскости пластинки</p> <p>Шпонки «Bulldog» изготавливаются с односторонним и двусторонним отгибом зубьев: первые – для передачи усилий от дерева к стальной накладке, вторые – для передачи усилий от древесины к древесине, как в шпоночных сопряжениях. Двухсторонний «Bulldog» работает аналогично зубчато-кольцевой шпонке и не имеет перед ней никаких преимуществ. Он обладает меньшей прочностью, так как сильнее зависит от деформирования при усадке пиломатериала, требует большего количества металла. Односторонний «Bulldog» не может быть заменен кольцевой шпонкой. При хорошем запрессовывании в дерево каждый зубец шпонки работает самостоятельно, как консоль, зашпеленная в жесткой пластине (шайбе). В односторонних «Bulldog», применяемых преимущественно в сборно-разборных деревянных конструкциях, усилие передается через срез болта, плотно проходящего сквозь отверстие в середине шпонки. С помощью зубьев шпонки усилие распределяется на большую поверхность смятия древесины, что обеспечивает достаточную безопасность сопряжения в отношении скалывания.</p> <p>Зубья шпонок «Bulldog» обладают следующими недостатками:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) незначительность размеров зубьев при усадке дерева приводит к выходу их из гнезд, что весьма снижает прочность сопряжения во влажной древесине пиломатериала; 2) тупая форма зубьев (прямоугольный треугольник) вызывает смятие волокон древесины, а не перерезание их при вдавливании; <p>Сборка конструкций на шпонках «Bulldog» производится аналогично сборке конструкций на зубчато-кольцевых шпонках. Для затяжки узлов применяется специальный ключ. При одностороннем отгибе зубьев вдавливание шайб «Bulldog» производится специальными прессами. В сборно-разборных стержневых конструкциях (при применении односторонних шайб «Bulldog») сборка может производиться простым сблизиванием узлов, «окованных» (путем предварительного запрессовывания шайб «Bulldog») шайбой [476056]. Двухсторонние шайбы «Bulldog» могут так же применяться не только в узловых соединениях, но и для повышения сдвиговой жесткости винтовых соединений деревянных конструкций [476062].</p>	<p>Характеристическое (нормативное) значение несущей способности соединения с использованием зубчатой пластины определяется из выражения:</p> $F_{v,Rk,connect} = F_{v,Rk} + F_{v,Rk,bolt}$ <p>При одностороннем расположении зубьев:</p> $F_{v,Rk} = 18k_1k_2k_3d_c^{1.5}$ <p>При двухстороннем расположении зубьев</p> $F_{v,Rk} = 25k_1k_2k_3d_c^{1.5}$ <p>где $F_{v,Rk}$ – характеристическое (нормативное) значение несущей способности зубчатой пластины, Н; d_c – диаметр зубчатой пластины; k_1 – коэффициент, зависящий от толщины соединяемых элементов, k_2 – поправочный коэффициент, зависящий от расстояния $a_{3.1}$ до нагруженного торца; k_3 – коэффициент, зависящий от плотности древесины и определяемый из выражения:</p> $k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right.$ <p>где ρ_k – характеристическое (нормативное) значение плотности древесины в соединении, кг/м³. Расчетное значение несущей способности единичной зубчатой пластины в соединении при действии усилия вдоль волокон определяется из выражения:</p> $F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} F_{v,Rk}}{\gamma_m}$ <p>где k_{mod} – поправочный коэффициент, принимаемый из табл. 3.1 в [516021]; γ_m – частный коэффициент для соединений, который принимается равным 1,25; $F_{v,Rk}$ – характеристическое (нормативное) значение несущей способности зубчатой пластины.</p>

<p>10</p>	<p>Клепальная волнистая зубчатая шпонка (КСВЗШ) [476009]</p> 		<p>Для повышения несущей способности и надежности узлового соединения, снижения деформативности стержневых деревянных конструкций при действии знакопеременных усилий разработано соединение, относящееся к области несущих конструкций, преимущественно пространственных структурных плит, а так же решетчатых стержневых систем и других подкосных конструкций, в том числе монтажных соединений массивных КДК [476009]. Шпонка снабжена зубьями и шипами, расположенными соответственно на впадинах и гребнях со стороны деревянных элементов. При этом пласти деревянных стержней из пиломатериалов или брусков в зоне соединения могут быть выполнены с модификацией древесины. Соединение в сборке работает следующим образом. Например, при осевом растяжении (сжатии) усилие с парных элементов передается через боковые внутренние пласти по клееному шву и зубчатые шипы на шпонки. С них на внутреннюю шайбу и далее через стяжной болт на сердечник и на противоположные элементы в обратном порядке (рисунок 10). В отличие от соединения с волнистыми шайбами Буффю, работающими на трение с неравномерным сжатием древесины в зоне гофров, предлагаемая конструкция снабжена внутренними шайбами, расположенными между сердечником и шпонками, при этом одна сторона шайбы плотно входит в гребни и впадины КСВЗШ, а другая, примыкающая к сердечнику, плоская. Кроме того, шпонка со стороны деревянных элементов имеет зубья и шипы, входящие в зацепление с деревянными элементами, и при знакопеременных усилиях одинаково хорошо работает в любом направлении, обеспечивая дополнительную прочность соединения на сдвиг и сжатие в зоне КСВЗШ, т.е. последние расположены на одинаковом расстоянии от центра шпонки с радиально-осевой асимметрией. Причем сдвиг и сжатие будет происходить по древесине предварительно упрочненной, т.е. обладающей более высокими прочностными и деформационными характеристиками.</p>	<p>Несущую способность КСВЗШ можно определить по приближенным формулам, в зависимости от угла направления вектора усилий по отношению к направлению волокон, по формуле[^]</p> $T_a = 0,2d_w^2 \cdot K_f \cdot K_e \cdot K_\alpha$ <p>где T_a – несущая способность одного среза, кН; d_w – диаметр шайбы, см; K_f – коэффициент, учитывающий кривизну поверхности шайбы[^]</p> $K_f = \sqrt{1 + \left(\frac{n \cdot f}{d_w}\right)^3}$ <p>где n – количество волн в КСВЗШ; f – длина полуволны, см; K_e – коэффициент, учитывающий эксцентриситет, определяется по формуле:</p> $K_e = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{e}{d_w}}}$ <p>где e – эксцентриситет между внешним усилием и КСВЗШ, см; K_α – коэффициент, учитывающий угол α, может быть вычислен по формуле:</p> $K_\alpha = \frac{1}{1 + 0,33 \sin^3 \alpha}$ <p>где α – угол между направлением вектора внешних усилий T_α по отношению к волокнам древесины.</p>
<p>11</p>	<p>Шпонка «Буффю» [476056]</p> 		<p>Шпонка «Буффю» представляет собой квадратную пластинку из тонкой стали с кольцевым двухсторонним гофром. В центре пластинки имеется отверстие для болта (рисунок 1.15). При запрессовывании шпонки её гофр вдавливается в древесину, не перерезая волокон. Болт плотно примыкает к отверстиям в шпонке. При работе шпонки усилие, передающееся через гофр, вызывает растяжение болта. При разрушении сопряжения происходит смятие древесины под гофром шпонки и заклинивании её между соединяемыми элементами, болт в таком случае начинает работать на срез. Сортамент шпонок «Буффю» приведен в [476056]. В ряде случаев, при установке шпонок «Буффю», применяется предварительное выбирание желобков, для более полного заглубления гофра. Шпонки «Буффю» нуждаются в мощной стяжке узла болтом, размеры болта и внешних шайб должны быть достаточными для обеспечения полного вдавливания шайб в древесину, без вдавливания внешних шайб и без вытяжки болта. Применение влажный пиломатериалов оказывает отрицательный эффект, так как полученное в сборке обжатие шайб в таком случае полностью исчезает. Использование шпонок «Буффю» ограничено в связи с затруднительностью достижения плотной стяжки узлов и необходимостью применения специальной штампованной стали, а так же предварительно высушенных пиломатериалов.</p>	



<p>12</p>	<p>Вклеенные шайбы [476059]</p> 		<p> Данный вид соединения подразумевает, что механическая связь вклеивается в гнездо, выбираемое в древесине соединяемых элементов, а не просто приклеивается к боковым поверхностям или свободно вставляется в выбранное отверстие. Наличие вклеенных металлических деталей в местах повышенного уровня силовых воздействий способствует перераспределению напряжений смятия и скалывания на большую площадь соединяемых элементов, а следовательно, и к увеличению несущей способности соединения. С другой стороны, наличие монолитного соединения древесины с вклеенной механической связью существенно снижает податливость всего соединения. Клееметаллические соединения на вклеенных шайбах обладают повышенной несущей способностью, что очень важно в тех случаях, когда на сравнительно небольшой площади взаимного контакта соединяемых элементов необходимо передать значительные усилия. Повышение несущей способности клеєметаллического соединения связано с уменьшением степени концентрации напряжений смятия и скалывания в зонах местной передачи усилий и вовлечением в активную работу большей площади за счёт монолитной работы механической связи и древесины соединяемых элементов. Важным достоинством соединений на вклеенных стальных шайбах является отсутствие начальных неупругих деформаций, вызываемых обычно неплотностями соединений и неточностями изготовления, которые устраняются благодаря заполнению отверстий жидким клеем в процессе изготовления, после отверждения которого клеевая масса становится твёрдой и прочной, создавая монолитность соединения. </p>	<p> Несущая способность вклеенной шайбы при нормальных условиях эксплуатации определяется по формуле: $N_{\alpha} = (1 - 10^{-2} \cdot \alpha^0) \cdot (1,65 + 0,21 \cdot D_{ш} \cdot t) \cdot R_{см}$ С учетом влажностного режима: $N_{\alpha} = (1 - 10^{-2} \cdot \alpha^0) \cdot (1,65 + 0,21 \cdot D_{ш} \cdot t) \cdot R_{см} \cdot (1 + \alpha(\omega - 12))$ где α^0 - угол передачи усилия относительно волокон древесины, в град.; $D_{ш}$ - диаметр шайбы, см; t - толщина шайбы, см; $R_{см}$ - расчетное сопротивление древесины смятию, МПа; α - коэффициент, учитывающий влажность древесины; ω - влажность древесины (8-23%). </p>
-----------	---	---	---	--

Выводы

1. Для практического внедрения при изготовлении новых и усилении существующих деревянных конструкций целесообразно использование рассмотренных выше когтевых шайб и шпонок.
2. Расчет, конструирование и технология изготовления или усиления деревянных конструкций с шайбами и шпонками должна быть откорректирована в соответствии с актуализированной редакцией СП [476012] и Еврокодами [516021, 516004].



*ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ СВЯЗЕЙ
СДВИГА НА ПРОЧНОСТЬ И
ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СОСТАВНЫХ
РЕБРИСТЫХ ПАНЕЛЕЙ НА
ДЕРЕВЯННОМ КАРКАСЕ*



Ребристые плиты и панели с обшивками из листовых (плитных) материалов используют при строительстве гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Они являются универсальными ограждающими и несущими конструкциями, могут использоваться в качестве покрытий, перекрытий, стенового ограждения. Плиты покрытий выполняют одновременно функции прогонов, настила, подшивки, обеспечивают теплозащиту здания. В качестве обшивок плит покрытий и перекрытий за последние годы стали применять плиты OSB – продукт глубокой переработки древесины.

Цель работы: для изгибаемых плит перекрытий выявить степень включения в работу продольных деревянных ребер обшивок из OSB при использовании различных типов связей (винты, шайбы «Bulldog», клей), определить коэффициенты приведения обшивки $k_{об}$ и коэффициенты составности $k_w, k_{ж}$.

Объект исследования: панели перекрытия и покрытия с различными вариантами крепления обшивки из OSB и деревянных ребер.

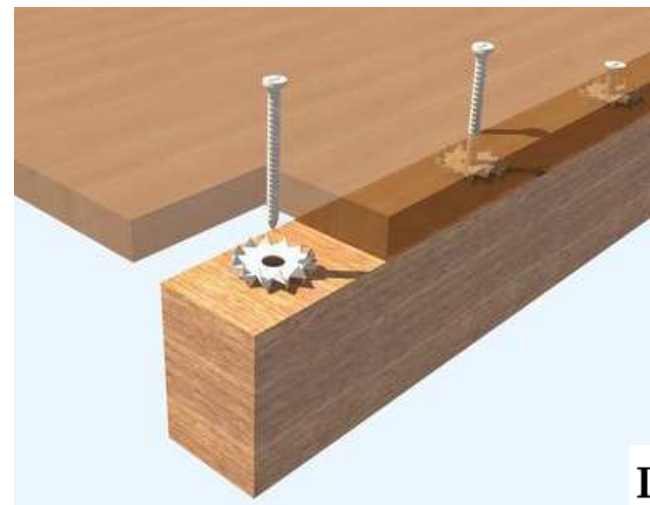
Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи:**

- создать физическую и расчетную модель, адекватно отражающую работу материалов (OSB, древесина), механических и клеевых соединений;
- выявить и оценить закономерности распределения нормальных напряжений сжатой обшивки в зависимости от жесткости связей;
- оценить степень включения обшивки в общую работу конструкции в зависимости от типа связей.

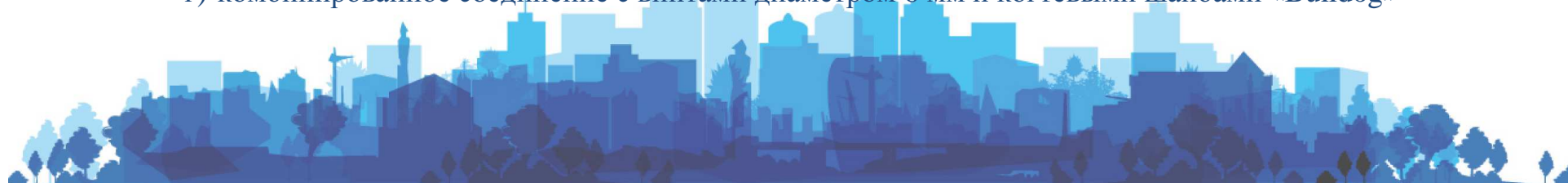




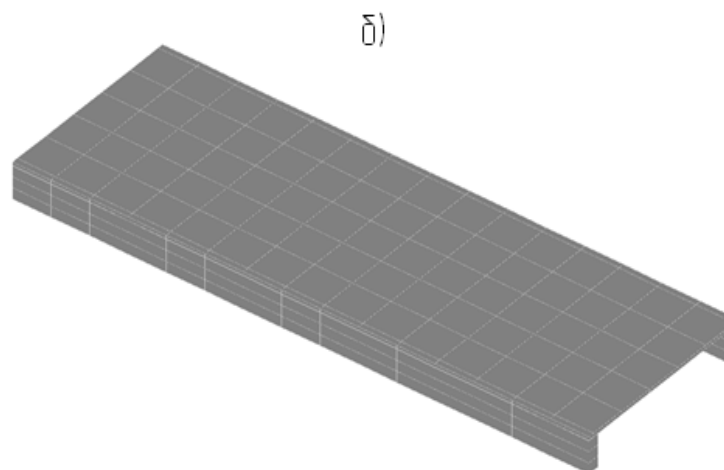
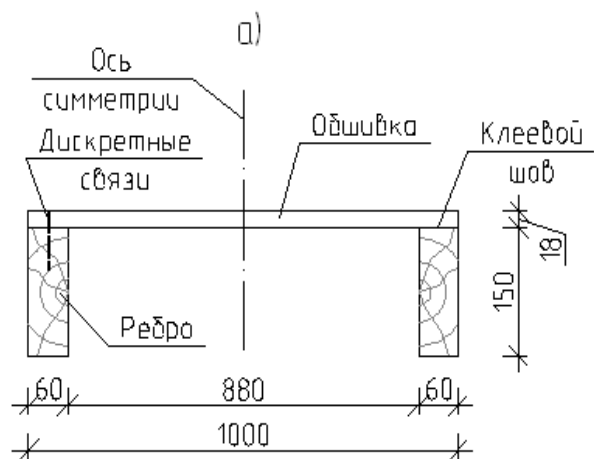
Диаметр когтевой шайбы, мм	50			75			95		
Диаметр болта, мм	17			23			36		
Минимальный шаг расстановки шайб, мм	70			110			140		
Диаметр болта, мм	10	12	16	10	12	16	12	16	20
Наибольшая нагрузка, кН	2	3	5	5	7	8	9	10	12



Типы коннекторов: а)–когтевая шайба «Bulldog» (Bova-Nail, Чехия)
 б)–винт диаметром 4 мм (DIN 18182); в)–винт диаметром 6 мм, (ГОСТ 1145–80);
 г)–комбинированное соединение с винтами диаметром 6 мм и когтевыми шайбами «Bulldog»



Ребра и обшивки панели моделировались с помощью пластинчатых конечных элементов типа 41 с ортотропными (пластины) и типа 36 с трансропными (пиломатериалы) жесткостными характеристиками. Дискретные связи, скрепляющие лист обшивки и каркас, приняты в виде конечных элементов типа 55, моделирующих связи конечной жесткости, устанавливаемых между двумя узлами и обеспечивающих взаимную линейную и (или) угловую податливость узлов. Шаг расстановки дискретных связей принят 200 мм.



К выбору расчетной
схемы панели
а – схема поперечного
сечения панели
перекрытия
б – расчетная модель
панели перекрытия,
составленная из
конечных элементов

Степень неравномерности распределения напряжений в обшивках панелей оценивалась коэффициентом приведения ($k_{об}$), определяемым по формуле (1):

$$k_{об} = \frac{\sigma_x^{cp}}{\sigma_x^{max}}; \quad (1)$$

σ_x^{cp} — среднее нормальное напряжение по всей ширине обшивки в поперечном сечении панели;

σ_x^{max} — максимальное нормальное напряжение.

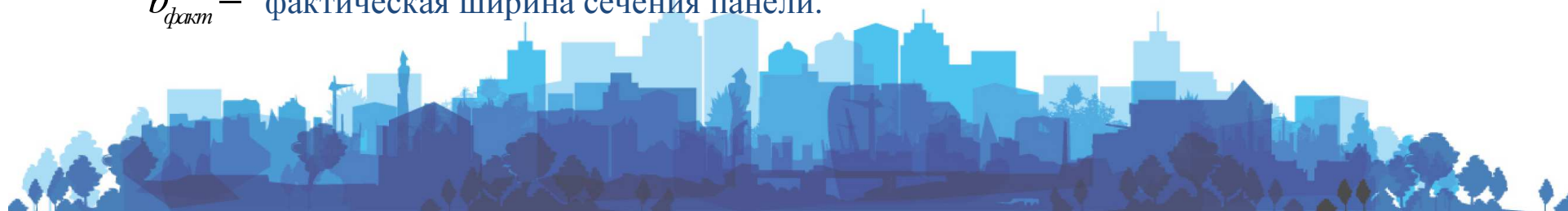
Для определения среднего значения нормальных напряжений по ширине обшивки была использована формула (2):

$$\sigma_x^{cp} = \frac{1}{b_{об}} \int_a^{b_{об}} \sigma_x dy \approx \frac{1}{b_{об}} \sum_{i=1}^n \sigma_x^i \Delta y_i; \quad (2)$$

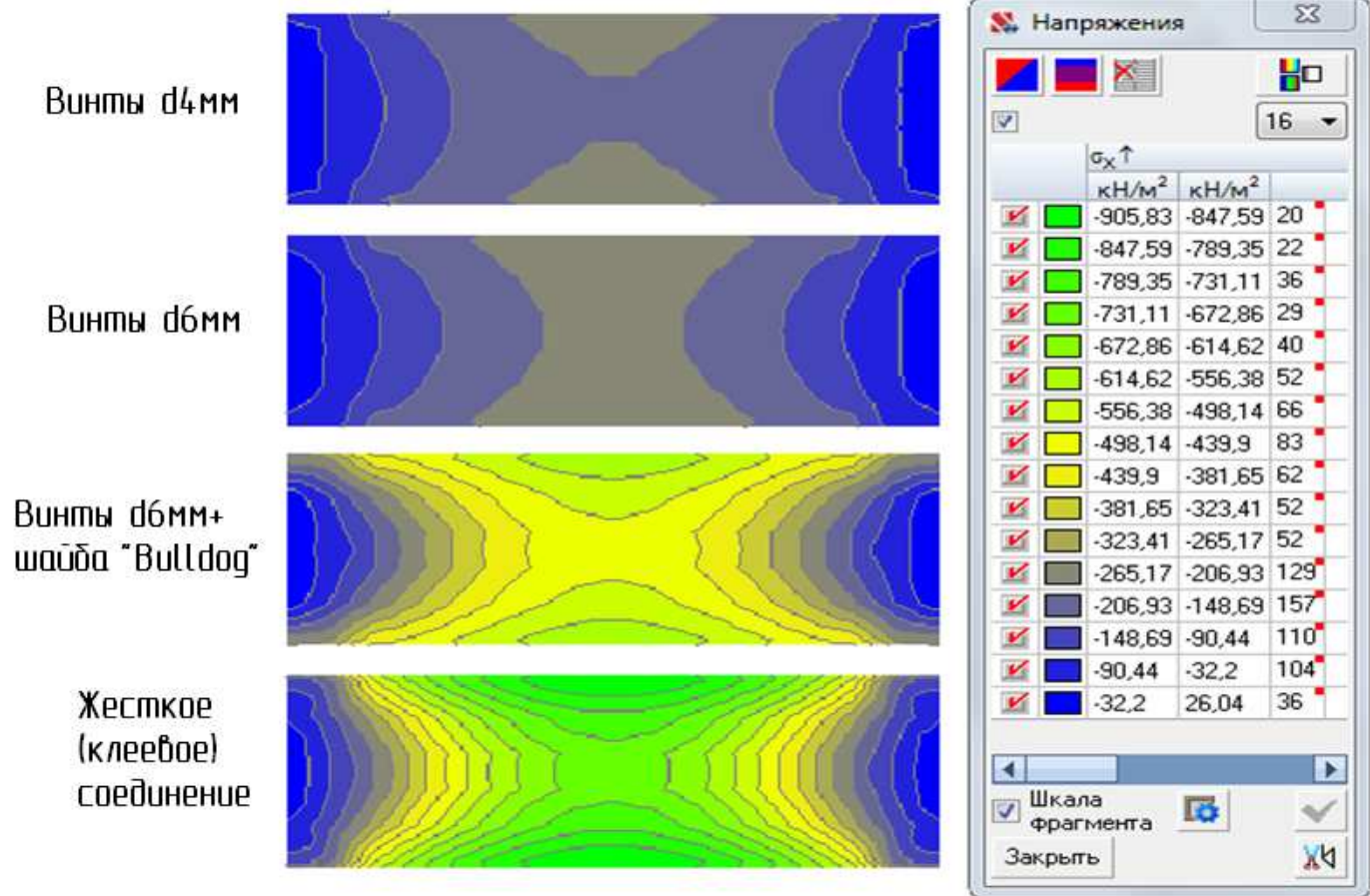
σ_x^i — значение нормального напряжения в каждой точке по ширине поперечного сечения;

Δy_i — бесконечно малая ширина участка между точками измерения напряжений;

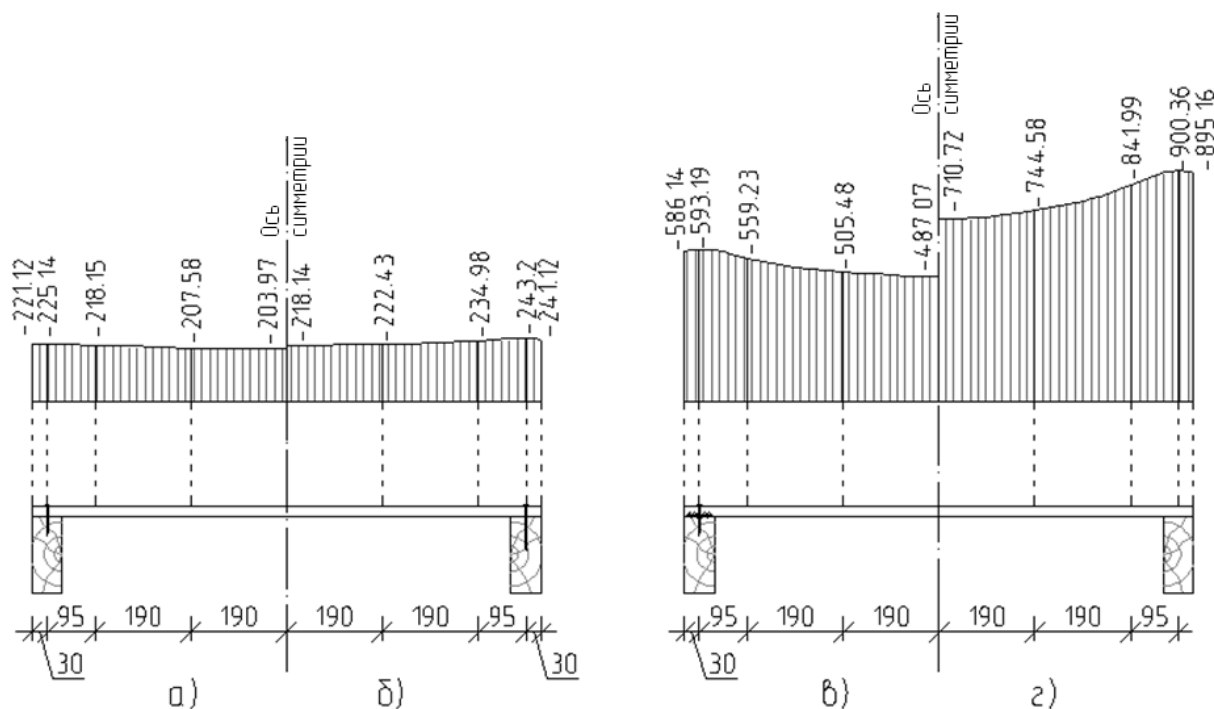
$b_{факт}$ — фактическая ширина сечения панели.



Распределение нормальных напряжений в обшивке панели при различных вариантах крепления



Распределение нормальных сжимающих напряжений σ_x в обшивке панелей: а – соединение с винтами $\varnothing 4$ мм; б – соединение с винтами $\varnothing 6$ мм; в – комбинированное соединение (зубчатая шайба + винты); г – жесткое (клеевое) соединение



Значения средних и максимальных напряжений, коэффициента приведения обшивки
 в зависимости от типа связей

Тип связей	Максимальное напряжение в обшивке, МПа	Среднее напряжение в обшивке, МПа	Коэффициент приведения обшивки $k_{об}$	Рекомендуемые значения коэф. $k_{об}$
Винты Ø4 мм	–0,225 (25%)	–0,212 (27%)	0,942	0,9
Винты Ø6 мм	–0,243 (27%)	–0,228 (29%)	0,936	0,9
Комбинированное соединение с шайбой «Bulldog»	–0,593 (66%)	–0,528 (67%)	0,891	0,85
Жесткое (клеевое) соединение	–0,900 (100%)	–0,786 (100%)	0,872	0,8

Ширина обшивки, вводимая в расчет, определяется по формуле (3):

$$b_{прив} = k_{об} \cdot b_n; \quad (3)$$

$k_{об}^n$ – коэффициент приведения;

b_n – фактическая (габаритная) ширина обшивки.



Степень включения обшивки в работе панели при податливом соединении может быть учтена путем введения коэффициентов $k_{ж}$ – к моменту инерции для расчета на прогиб, и k_w – к моменту сопротивления для расчета на прочность.

$$J_{расч} = k_{жс} \cdot J_0; \quad (5)$$

$$W_{расч} = k_w \cdot W_0; \quad (6)$$

J_0, W_0 – момент инерции и момент сопротивления, рассчитанные как для цельного сечения без учета податливости связей сдвига.

Для определения коэффициентов составности $k_{ж}$ и k_w можно воспользоваться формулами (7) и (8) соответственно:

$$k_{жс} = \frac{f_{цел}}{f_{под}}; \quad (7)$$

$$k_w = \frac{\sigma_{цел}}{\sigma_{под}}; \quad (8)$$

$f_{цел}, \sigma_{цел}$ – прогиб и напряжение в панели цельного сечения;

$f_{под}, \sigma_{под}$ – прогиб и напряжение в ребре панели с податливыми связями обшивки и ребер, определяемые по результатам расчета.



Значения прогибов, напряжений и коэффициентов составности панели с жесткими и податливыми связями

Тип связей	Максимальный прогиб, мм	Максимальное напряжение в ребре, МПа		Коэффициенты составности кж/кв	Рекомендуемые коэффициенты кж/кв
		$\sigma_{p,max}^+$	$\sigma_{p,max}^-$		
Винты Ø4 мм	5,81 (145%)	4,463 (126,97%)	-4,373 (208,9%)	<u>0,688</u> 0,788	<u>0,65</u> 0,75
Винты Ø6 мм	5,76 (144%)	4,437 (126,23%)	-4,416 (193,35%)	<u>0,694</u> 0,792	<u>0,65</u> 0,75
Комбинированное соединение с шайбой «Bulldog»	4,78 (119,5%)	3,938 (112%)	-3,321 (145,4%)	<u>0,836</u> 0,892	<u>0,8</u> 0,85
Жесткое (клеевое) соединение	4 (100%)	3,515 (100%)	-2,284 (100%)	<u>1</u> 1	<u>1</u> 1

Выводы по результатам исследования

- Увеличение сдвиговой жесткости соединений элементов обшивки и деревянных ребер панели на деревянном каркасе с обшивкой из OSB приводит к увеличению нормальных напряжений в обшивке. Вместе с тем, уменьшается коэффициент редукции (т.е. степень неравномерности распределения нормальных напряжений), что необходимо учитывать в расчетах введением соответствующего коэффициента $k_{об}$.
- Увеличение диаметра винтов с 4 мм до 6 мм не выявило существенного увеличения средних (на 2%) и максимальных (на 2%) нормальных напряжений в обшивке. Применение комбинированных соединений с когтевыми шайбами «Bulldog» привело к значительному увеличению средних (+40%) и максимальных (+41%) нормальных напряжений в обшивке панели (по сравнению с соединением на винтах $\varnothing 4$ мм).
- При использовании комбинированного соединения степень включения обшивки в работу панели на изгиб значительно возрастает, что подтверждают полученные коэффициенты k_w и $k_{ж}$. По сравнению с соединением на винтах $\varnothing 4$ мм, использование комбинированного соединения с когтевыми шайбами «Bulldog» привело к снижению напряжений в ребрах на 14% в растянутой зоне ребер, на 63,5% в сжатой зоне. Коэффициенты составности k_w и $k_{ж}$ увеличились на 13% и 22% соответственно.



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ВСЕРОССИЙСКИЙ
ЖИЛИЩНЫЙ
КОНГРЕСС

28-30 сентября
ОТЕЛЬ «ПАРК ИНН ПРИБАЛТИЙСКАЯ»



Северный (Арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова

Спасибо за внимание!

г. Архангельск, 2016