

ФЕДОСОВ С.В., КОТЛОВ В. Г., ОКИШЕВ Н.И.

¹МГСУ, академик РААСН, г. Москва Российская Федерация

²ПГТУ, г. Йошкар Ола, Российская Федерация

FEDOSOV S.V., KOTLOV V.G., OKISHEV N.I.

¹MGSU, Academician of RAASN, Moscow Russian Federation

²VSUT, Yoshkar Ola, Russian Federation

(e-mail: fedosov-academic53@mail.ru. kotlov.vitaliy@mail.ru. nokishev@mail.ru.)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MULTI-STOREY WOODEN BUILDINGS

Макалада адабий, интернет булактарды талдоонун негизинде конструкциясы жыгачтан жасалган объектилер көрсө түлгөн жана көп кабаттуу турак жайларды курууда колдонулуучу байланыштыруучу негизги түйүндөрдүн түрлөрү каралган. Аныкталган кемчиликтерден улам жумуру жыгач нагелдер менен түйүп байланыштыруу ыкмасы сунушталган. Чөйрөнүн нымдуулугу менен температуранын аларга тийгизген таасири каралган. Кургаганда же нымдан көпкөн учурда байланыштыруучу түйүндөрдүн ийкемдүүлүгү тууралуу корутунду берилген.

Өзөк сөздөр: жыгачтын породасы, нагель, колонна, ригель, жыгачтын кеңейиши, түйүндүү байланыш, жыгачтын кургашы, кенейүү коэффициенти, кеңейүү басымы, радиалдык жана тангенциалдык өлчөмү.

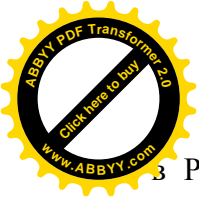
В статье, на основе анализа литературных и интернет источников, показаны несколько существующих объектов с несущими конструкциями из древесины, рассмотрены основные виды узловых соединений, использующихся в строительстве многоэтажных деревянных зданий. На основе выявленных недостатков предложено узловое соединение на цилиндрических деревянных нагелях. Рассмотрено влияние изменения температуры и влажности среды эксплуатации на изменение линейных размеров элементов узлового соединения. Сделаны выводы о податливости соединения при разбухании и усушке.

Ключевые слова: порода древесины, нагель, колонна, ригель, разбухание древесины, узловое соединение, усушка, коэффициент разбухания, давление набухания, радиальный и тангенциальный размер.

The article, based on the analysis of literary and Internet sources, shows several existing objects with load-bearing structures made of wood, considers the main types of nodal connections used in the construction of multi-storey wooden buildings. Based on the identified shortcomings, a nodal connection on cylindrical wooden nagels is proposed. The influence of changes in temperature and humidity of the operating environment on changes in the linear dimensions of the node connection elements is considered. Conclusions are made about the pliability of the compound during swelling and shrinkage.

Key words: wood species, Nagel, column, crossbar, wood swelling, nodal joint, shrinkage, coefficient of swelling, swelling pressure, radial and tangential size.

Введение. Сочетание таких известных достоинств как: самовозобновляемость, экологичность, малая энергоемкость, а также физико-механические характеристики делают древесину одним из самых перспективных строительных материалов [1]. На данный момент



В России древесина используется в основном только при малоэтажном строительстве в частном секторе. К примеру, по заявлению Министерства Строительства России в прошлом году из 120 млн. кв. м недвижимости, лишь 12% были построены с применением продукции деревянного домостроения. Для сравнения, в США, Канаде, Японии, и ряде европейских стран, этот показатель составляет порядка 40%, а в отдельных странах достигает и 80%. В странах Европы, таких как Норвегия, Финляндия и т.п. деревянные здания и сооружения уже занимают лидирующие позиции среди всех строящихся объектов.

Несмотря на то что из древесины строится всего 12% зданий, уже построено немало интересных объектов с использованием деревянных конструкций. Это и самый большой деревянный храм из построенных по программе правительства Москвы «200 храмов», и Физкультурно-оздоровительный комплекс МГСУ, и склад реагентов, и школа в инновационном центре Сколково. С применением деревянных конструкций был возведен и один из крупнейших в стране аквапарк в Новосибирске.

В строительной практике известно большое количество типов инженерных деревянных конструкций, отличающихся по способу соединения отдельных элементов, виду пиломатериалов, применению металла, конструктивной схеме, способу изготовления и другим признакам. Особо важным критерием в современном строительстве является способ изготовления конструкций – построечный или заводской.

К конструкциям построечного изготовления, требующего больших трудозатрат, следует отнести различные виды гвоздевых конструкций (дощатые балки с перекрестной стенкой, сегментные фермы, дощатые рамы), конструкции на врубках (подкосные системы из бревен, треугольные и пятиугольные брусчатые фермы), многослойные решения покрытий из множества элементов, соединяемых гвоздями на строительной площадке.

Конструкции, элементы которых могут быть заранее изготовлены в заводских условиях - сборные металлодеревянные фермы из брусьев на болтах, панели CLT, панели МНМ, панели Унипанель, панели Natugi и LVL брус, являются наиболее перспективными на данный момент, так как заводское изготовление элементов каркаса позволяет делать более точные соединения без зазоров и люфтов.

Наиболее совершенными типами деревянных промышленных конструкций, изготавливаемых в заводских условиях, являются клееные и клефанерные несущие и ограждающие конструкции.

На сегодняшний день невозможно представить деревянные конструкции без надежных узловых и стыковых соединений. В 80% индивидуальных жилых домов в мире соединения выполняются с использованием нагелей (цилиндрических нагелей, пластинчатых нагелей, металлических зубчатых пластин и т.п.). Данный тип соединения может быть реализован как в заводских, так и в построечных условиях. В качестве нагелей могут использоваться болты, шпильки, металлические стержни, или металлические зубчатые пластины (МЗП). Использование металлических нагелей в соединениях деревянных элементов отрицательно сказывается в процессе эксплуатации. Циклические изменения температуры и влажности способствуют появлению конденсата на металле, впоследствии диффундирующего в древесину.

Периодическое проявление данного процесса вызывает гниение древесины. В связи с этим предлагается конструктивное решение узлового соединения с использованием однородных цилиндрических нагелей, т.е. из древесины [2].

Узловыми соединениями на цилиндрических деревянных нагелях занимались: Коченов В.М [3], В.М. Хрулев [4], Иванов В.Ф [5].

Цели. Анализировать конструктивные решения зданий с несущими деревянными конструкциями повышенной этажности.

Задачи. 1) Анализировать информацию о конструктивных решениях зданий уже построенных или строящихся на данный момент, привести примеры.

2) Выделить достоинства и недостатки приведенных конструктивных решений.

3) Согласно существующим нормам сформулировать гипотезу об изменениях объема элементов соединения и податливости предложенного соединения.

Для решения поставленных задач, был проведен анализ литературных и интернет источников. Предложено «уникальное» узловое соединение для каркасов многоэтажных зданий. Рассмотрено влияние изменения температуры и влажности на изменение размеров элементов соединения.

Сегодня многоэтажные здания с использованием деревянных несущих конструкций в основном строятся по 2 конструктивным схемам: каркасная и бескаркасная(панельная). В каркасных зданиях несущими элементами являются колонны и ригели, в панельных- панели.

Ниже представлены уже существующие здания в деревянном исполнении.

Жилой дом «Treet» расположен в городе Берген, Норвегия и имеет 14 этажей. Процесс проектирования начался в 2011 году и был завершен в 2013 году (см. рис.1).

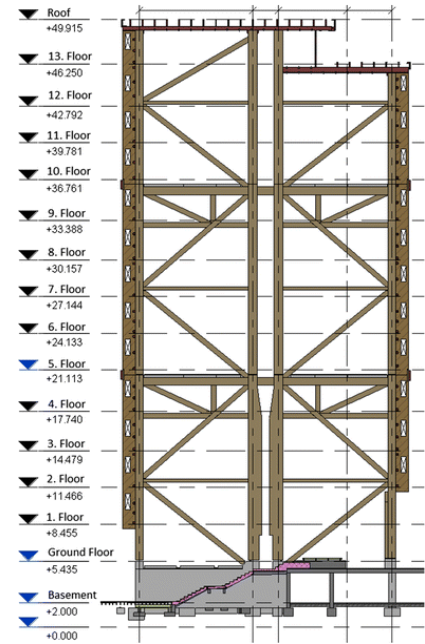
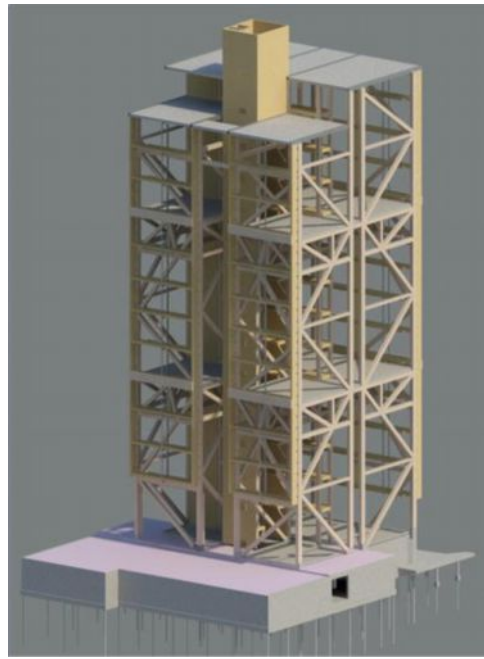


Рис. 1. Жилой дом «Treet» Берген, Норвегия

Здание имеет площадь 5830 м². Каркас состоит из клеёнощитых деревянных колонн и балок, а сами этажи из сборных жилых модулей. Работа данной ферменной клеёнощитой конструкции имеет близкое сходство к конструктивным схемам, используемым в современных деревянных мостовых конструкциях. Каждый 4 этаж имеет жесткий железобетонный диск перекрытия.

17-этажное студенческое общежитие в Канаде. В Ванкувере закончилось строительство общежития, рассчитанное на проживание 400 студентов. Здание высотой 53 м разделено на несколько ядер железобетонными плитами, увеличивающими вес всей конструкции и придающими ей дополнительную жесткость. Прямоугольное в плане здание несущими элементами которого являются колонны из LVL – бруса, и перекрытия из CLT – панели, ограждающими элементами являются CLT – панели, они работают как самонесущие (см. рис 2).



Рис. 2. 17-этажное студенческое общежитие в Канаде

Конструкторы из Нидерландов решили построить жилой многоквартирный дом, взяв за основу технологию «Timber Frame», используя в качестве несущих балок LVL брус, а стен – CLT панели. Хотя на первый взгляд кажется, что технология экономически невыгодна, конструкторы на практике доказали обратное, построив дом высотой в 30 метров (см. рис 3).



Рис. 3. 7-этажный жилой дом в Нидерландах

В основном сегодня выделяются каркасные здания. В их конструкции огромную роль играет соединения несущих элементов, узловые соединения должны быть надежными, прочными и ремонтпригодными. Ниже представлены несколько самых распространённых соединений используемых при строительстве многоэтажных каркасных зданий.

Узловое соединение на основе металлических пластин и металлических нагелей, является самым распространённым соединением в высотном домостроении (см. рис.4).

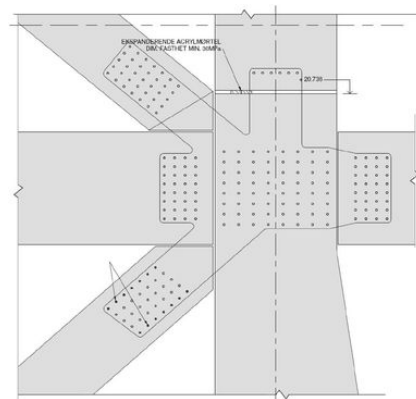
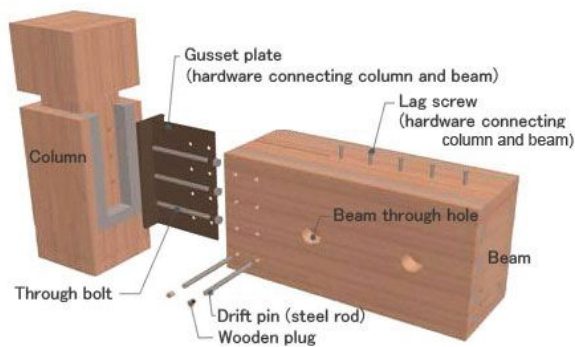


Рис. 4. Узловое соединение с использованием металлической пластины и нагелей

Представленный вид соединения использовался в выше показанном жилом доме Treet.

Так же часто встречаются соединения с использованием металлических «башмаков» (см. рис. 4).



Рис. 5. Узловое соединение с использованием «металлического башмака»

В основном, все виды соединений так или иначе используют нагеля, в качестве несущих элементов в соединении. Совместно с нагелями так же используют и часть колонны в виде «полки» на которую опирается ригель частично или полностью, и передает часть нагрузки на нее. Таким образом требуется меньше нагелей (см рис.6).



Рис. 6. Узловое соединение с использованием нагелей

Все представленные виды соединений имеют множество достоинств от экономической выгоды до распределения нагрузки. Но все их объединяет 1 недостаток: использование металлических нагелей в соединениях, отрицательно сказывается в процессе эксплуатации. Циклические изменения температуры и влажности способствуют появлению

конденсата на металле, впоследствии диффундирующего в древесину. Периодическое появление данного явления, приводит к намоканию древесины вокруг нагельного гнезда, и в последствии ее гниению. Данный недостаток можно нивелировать, используя в соединении элементы из однородного материала – древесины. Ниже представлено узловое соединение на цилиндрических нагелях из древесины с «уникальным» внешним видом.

Данное узловое соединение было разработано для применения в составе каркасов зданий различной этажности. Узел по схеме работы является шарнирным. В составе данного соединения используются материалы разных пород и сортов: колонна, ригели и распорки выполнения из древесины сосна 2 сорта, нагель выполнен из древесины березы 1 сорта.

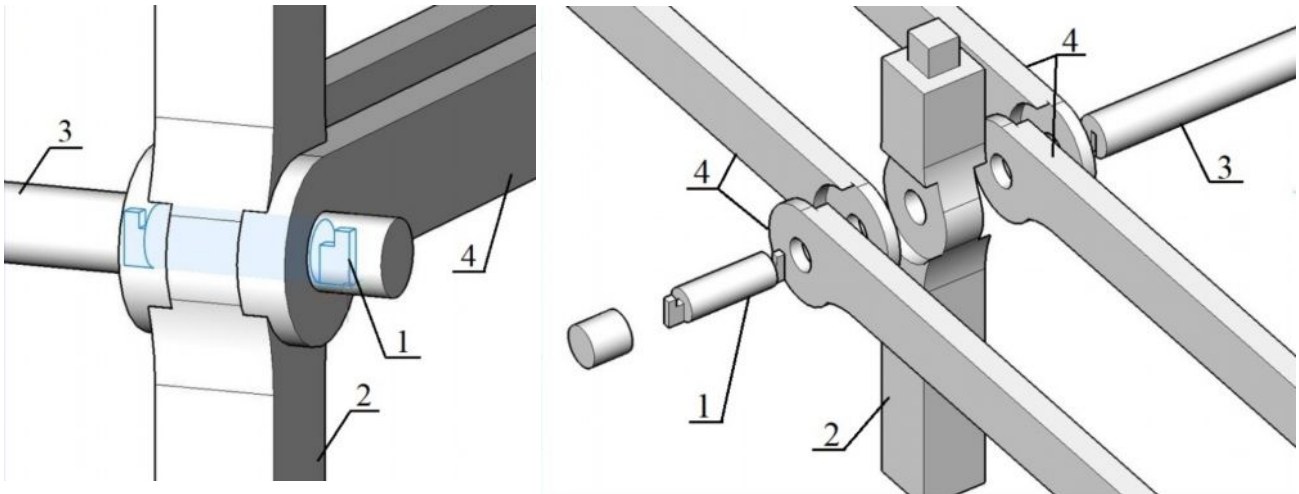


Рис. 7. Узловое соединение с использованием нагеля из древесины:
1 - нагель; 2 – колонна; 3 – распорка; 4 - ригели

Представленный вид соединения, за счет круглой формы ригеля, позволяет уйти от проблемы концентрации напряжений на краях полки колонны, в отличие от вышепоказанного узлового соединения (см. рис.6), так же данная форма позволяет лучше передать нагрузку от ригелей на колонну.

В основном сегодня деревянные конструкции, используемые в многоэтажных зданиях, находятся в открытом виде. В таком состоянии, как на конструкции, так и на их соединения могут влиять изменения влажности и температуры в среде эксплуатации. Повышение того или иного параметра будет вести к повышению или понижению податливости соединения. В основном древесина при изменениях влажности и температуры подвержена усушке и разбуханию.

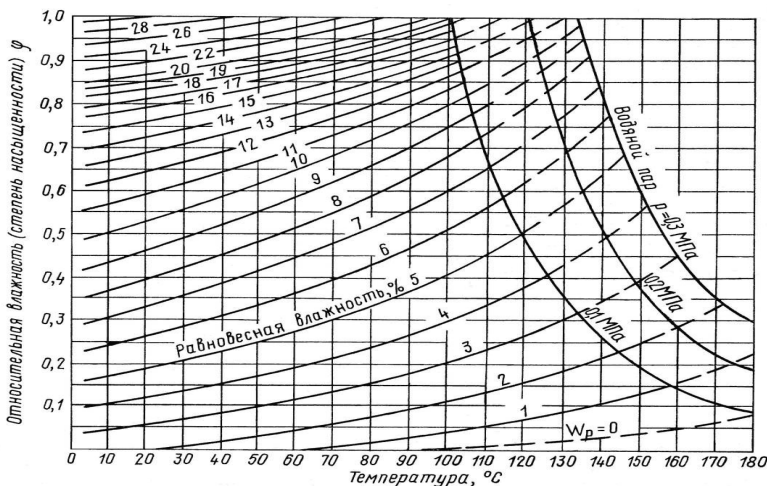
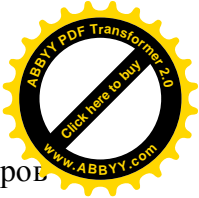
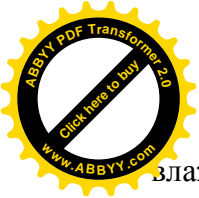


Рис. 8. Диаграмма равновесной влажности древесины

Анализируя диаграмму равновесной влажности (см. рис.8) можно заметить, как влияет повышение температуры на



влажность древесины. Изменение температуры на 20°C и неизменности других параметров среды эксплуатации, ведет к уменьшению равновесной влажности древесины менее 1%. Таким образом влияние температуры на равновесную влажность достаточно мало в отличие от относительной влажности среды изменение которой на 20% и неизменности других параметров, ведет к изменению равновесной влажности на 4%. За счет изменения равновесной влажности меняются и линейные размеры элементов в соединении. Из этого следует, что влияние температуры на соединение будет гораздо меньше влияния влажности.

Усушка возникает при уменьшении влажности в среде эксплуатации. Определить коэффициент усушки в процентах можно по ГОСТ 16483.37-88 «Древесина. Метод определения усушки».

Значения коэффициентов усушки для наиболее распространенных пород древесины, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты усушки K_u и разбухания K_p

Порода древесины	Плотность, кг/м ³			Коэффициенты усушки K_u (числитель) и разбухания K_p (знаменатель), %		
	при 12% влажности	в абсолютно сухом состоянии	условная	объемных	радиальных	тангенциальных
березы	630	600	500	0,54/0,64	0,26/0,28	0,31/0,34
бук	670	640	530	0,47/0,55	0,17/0,18	0,32/0,35
дуб черешчатый	690	650	550	0,43/0,50	0,18/0,19	0,27/0,29
ель	445	420	360	0,43/0,50	0,16/0,17	0,28/0,31
липа	495	470	400	0,49/0,58	0,22/0,23	0,30/0,33
лиственница	660	630	520	0,52/0,61	0,19/0,20	0,35/0,39
осина	495	470	400	0,41/0,47	0,14/0,15	0,28/0,30
сосна кедровая	435	410	350	0,37/0,42	0,12/0,12	0,26/0,28
сосна обыкновенная	500	470	400	0,44/0,51	0,17/0,18	0,28/0,31

Таблица 2 – Усушка поздней и ранней древесины

Порода	Зона годичного слоя	Усушка, %			
		радиальная	тангенциальная	вдоль волокон	объемная
Лиственница	Ранняя	3,23	7,11	0,27	10,34
	Поздняя	10,19	12,25	0,13	20,96
Сосна	Ранняя	2,91	8,05	0,19	10,86
	Поздняя	8,22	11,26	0,10	18,97
Ель	Ранняя	2,41	5,84	0,19	8,38
	Поздняя	6,25	8,81	0,14	14,63

Анализируя данные табл. 2, 3, можно сказать что усушка элементов вдоль волокон на порядок ниже чем поперек волокон, таким образом ее влияние будет очень мало, и ее можно не учитывать.

Исследуя влияние усушки на предлагаемое узловое соединение, можно отметить что направление волокон играет решающую роль в изменении линейных размеров элементов. Таким образом, при направлении волокон показанное на рис. 9, схема деформирования будет выглядеть:

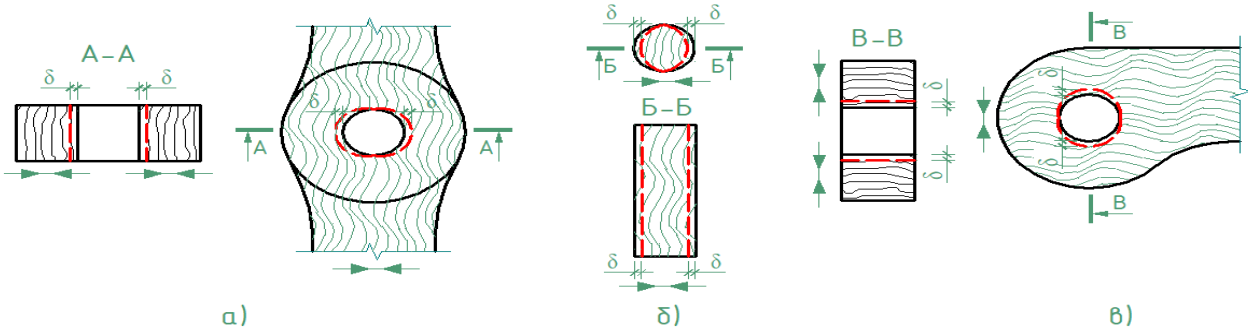


Рис. 8. Схемы деформирования элементов соединения при усушке: а) колонна; б) нагель; в) ригель

Анализируя данные табл. 1 и рис. 9, можно увидеть, что изменения линейных размеров от усушки как в нагеле, так и в колонне будут в одном направлении, что может привести к появлению зазоров между элементами, соединение ригеля и нагеля будут меньше подвержены этому, но все же за счет усушки нагеля и ригеля сила трения между элементами уменьшится. Вследствие вышеперечисленных последствий усушки податливость соединения увеличивается.

Увеличение влажности в помещении где находится узловое соединение, способствует разбуханию элементов. Определить коэффициент разбухания в процентах можно по ГОСТ 16483.35-88 «Древесина. Метод определения разбухания».

Анализируя данные табл. 2 можно увидеть, что значения коэффициентов усушки и разбухания эквивалентны, таким образом влияние разбухания на линейные размеры элемента вдоль волокон так же на порядок меньше чем в поперечном направлении и их можно не учитывать.

Значения коэффициентов разбухания для наиболее распространенных пород приведены в табл. 1.

Если воспрепятствовать увеличению объема элемента (нагель в теле колонны и ригелей), то возникает давление набухания. Давления набухания древесины некоторых пород при температуре 20°C приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Величина давления при набухании древесины различных пород

Порода	Давление набухания, кг/см ²	
	радиальное	тангенциальное
Сосна	8,2	14,4
	11,0	21,4
Лиственница	7,4	16,9
	9,1	17,1
Дуб	10,5	19,2
	15,4	31,0
Бук	12,2	13,7
Ясень	15,7	21,0
	27,2	31,8
Береза	10,4	8,6
Осина	8,9	10,4
Ольха	10,2	8,9

Исследуя влияние разбухания на предлагаемое узловое соединение, можно отметить что направление волокон так же играет решающую роль в изменении линейных размеров элементов. Таким образом, при направлении волокон показанное на рис. 9, схема деформирования будет выглядеть:

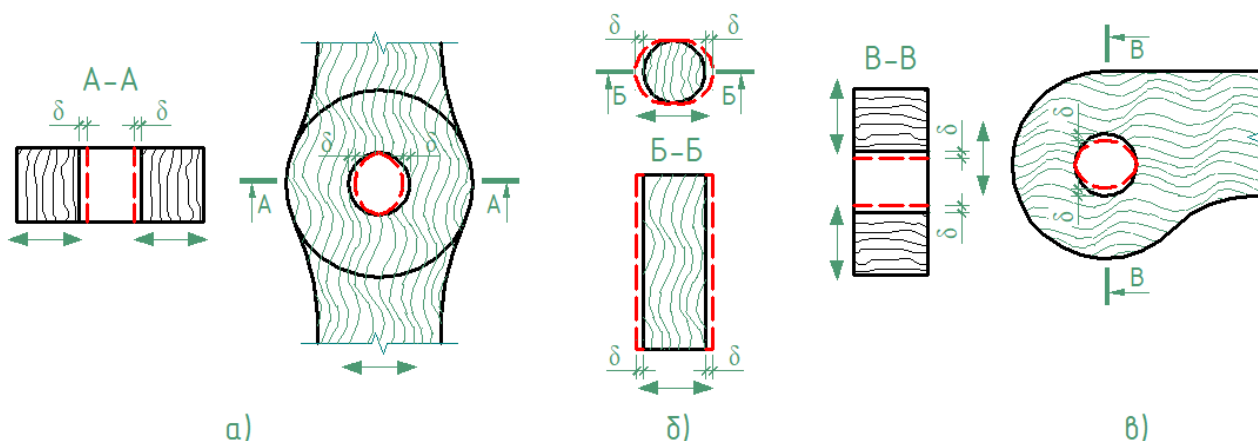


Рис. 9. Схемы деформирования элементов соединения при линейном(термическом) расширении: а) колонна; б) нагель; в) ригель

Анализируя рис. 9. можно сказать, что увеличение линейных размеров как в нагеле, так и в колонне будут в одном направлении, что может привести к росту внутренних напряжений (см. табл. 4), соединение ригеля и нагеля будут меньше подвержены этому, но все же за счет расширения нагеля и ригеля сила трения между элементами увеличится, вследствие чего уменьшится податливость соединения.

Выводы. Анализ результатов показывает, здания из древесины набирают все большую популярность в мире. Многоэтажные здания используют в основном только 2 конструктивных схемы: каркасные и бескаркасные(панельные), но чаще всего строятся каркасные. В каркасные здания важную роль играют соединения несущих элементов. В основном соединения делаются нагелевого типа на металлических пластинах и металлических нагелях. Использование металла в теле деревянных элементов негативно сказывается на долгосрочной перспективе, за счет возникновения конденсата, на металле при циклически изменяющихся параметров среды эксплуатации. Предложенное узловое соединение позволяет нивелировать несколько значительных недостатков существующих соединений. Анализируя изменение линейных размеров элементов соединения при усушке и разбухании, выдвинута гипотеза: увеличение влажности среды эксплуатации ведет к уменьшению податливости предложенного соединения, а ее уменьшение к увеличению податливости, за счет изменения равновесной влажности элементов.

Список литературы

1. Котлов В.Г. Сравнительный анализ технологий деревянного строительства [Текст] / В.Г.Котлов, В.И. Жаданов, К.В. Юкова, Е.В. Марсакова, И.С. Инжутов // материалы Всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры». – Оренбург: 2018. – 159-166 с.
2. Федосов С.В. Влияние температурно-влажностного режима на элементы деревянных конструкций в процессе эксплуатации [Текст] / С.В. Федосов, В.Г. Котлов, М.А. Иванова // Программа. Тезисы докладов 67 Всероссийской научной конференции. – Казань: КГАСУ, 2015. 48 с.
3. Коченов В.М. Несущая способность элементов соединений деревянных конструкций [Текст] / В.М.Коченов. - М. : Госстройиздат, 1953. – 320 с.
4. Хрулев В.М. Деревянные конструкции и детали [Текст] / В.М.Хрулев, К.Я. Мартынов, С.В. Лукачев, С.М. Шутов // под ред. В.М. Хрулева. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: Стройиздат, 1983. – 288 с.
5. Иванов В.Ф. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст] / В.Ф. Иванов. - М.: Госстройиздат, 1966. – 353 с.