

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

Коновалов М.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

E-mail: mikhail.konov.94@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЗАМЕНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ КОНСТРУКЦИЯМ В МНОГОЭТАЖНОМ ЗДАНИИ

Аннотация. В связи с тем, что деревянные конструкции заменяют такие понятия, как экологичность и натуральность, железобетонные конструкции в настоящее время являются основным строительным материалом для строительства многоэтажных зданий в нашей стране. Идея о строительстве деревянных многоэтажных зданий в России с каждым годом становится все более актуальной. Появление новых технологий и материалов делают это направление строительства перспективным.

Основываясь на имеющемся опыте использования деревянных конструкций в качестве несущих элементов сооружений, были рассмотрены возможные варианты конструктивных систем с использованием деревянных элементов. За основу было взято существующее офисное здание в Санкт-Петербурге, построенное с использованием монолитных железобетонных конструкций. Как показывают расчеты, предлагаемые варианты моделей зданий с использованием деревянных конструкций не только не уступают по физико-механическим и несущим показателям аналогичному зданию из монолитных железобетонных конструкций, но и в некоторых случаях даже превосходят. Экспериментальная часть работ направлена на полную замену монолитных железобетонных конструкций деревянными, результаты которой могли бы сделать строительство таких сооружений выгодным, но в то же время сократить сроки строительства. Подтверждение этого факта можно наблюдать на успешно реализованных многоэтажных зданиях в европейских странах.

Ключевые слова: многоэтажное строительство, деревянное строительство, деревянные строительные конструкции, конструктивные системы, древесина, уникальное сооружение.

Введение. Сегодня обычными небоскребами из железобетона никого не удивишь, это уже стало обычным делом для спальных районов и бизнес-центров. Другое дело – многоэтажное сооружение из 16 этажей, выполненное из дерева. Этот вариант многоэтажного здания интересует многих людей в нашей стране. Ведь многие люди не могут представить себе два таких понятия, как дерево и высотное здание в одной формулировке [1–3].

Многие люди сомневаются в пожарной безопасности многоэтажных деревянных зданий. Конечно, дерево горит, а сталь и бетон – нет, но степень воспламеняемости не является показателем огнестойкости. Древесина обладает низкой теплопроводностью и может сохранять целостность конструкции в течение длительного времени.

Когда древесина нагревается примерно с 280 °С, на ее поверхности образуется обугленный слой, который глеет и изолирует сердцевину, затрудняя поступление кислорода внутрь, что замедляет процесс горения [4, 5].

Но пока в России только думают о перспективах высотного строительства, зарубежные архитекторы поражают своими фантазиями в этой области. Эта идея наиболее активно реализуется в таких странах, как Финляндия, Германия, Англия, Австрия [1–3].

С конца прошлого тысячелетия в мировой строительной практике наметилась тенденция к возведению высотных зданий, несущие конструкции которых были выполнены из монолитного железобетона. Однако с увеличением темпов строительства увеличился выброс вредных веществ в атмосферу, особенно на начальных этапах строительства [6–8]. В поисках экологически чистых на всех этапах, экономичных и простых в обработке материалов особое внимание было уделено использованию древесины.

Основной целью статьи является определение целесообразности использования деревянных элементов в качестве несущих конструкций. Для достижения этой цели необходимо провести сравнительный анализ концептуальных решений по строительству многоэтажного здания, состоящего в основном из деревянных элементов. Основой для разработки исследуемых моделей является существующее многоэтажное здание, выполненное из традиционного строительного материала в виде монолитных железобетонных элементов [9].

Материалы и методы. Для эксперимента было решено взять в качестве эталонного сооружения 16-этажное офисное здание размером в плане 27×44 м, расположенное в Санкт-Петербурге [9]. Основные характеристики несущей конструкции здания:

- здание имеет центральное ядро жесткости, выполненное из монолитных железобетонных конструкций толщиной 220 мм,

- поперечное сечение несущих колонн здания составляет 500×500 мм,

- потолки от пола до пола также выполнены из монолитных железобетонных конструкций толщиной 220 мм,

- наружные стены офисного здания являются самонесущими, выполнены из кирпича с толщиной стен 250 мм.

Для сравнительного анализа несущих характеристик были разработаны четыре основные конструктивные системы, в которых древесина реализована в смешанной каркасной системе.

При разработке несущих каркасов деревянных зданий в качестве основных материалов несущих элементов рассматривались следующие:

CLT (Cross Laminated Timber) – главным преимуществом этих панелей является скорость строительства, так как панели поставляются с завода, а затем здание возводится как конструктор. При необходимости вы можете разобрать и собрать его в другом месте.

LVL (Laminated Veneer Lumber) и клееный брус – главное свойство – устойчивость к собственным деформациям: за счет склеивания нескольких досок в одну напряжения в древесине выравниваются.

Для анализа сил и напряжений, возникающих в конструктивных элементах, были разработаны четыре варианта несущих конструкций многоэтажного здания с различными конфигурациями и расположением основных несущих элементов из дерева. Каждый рассматриваемый вариант имеет свой собственный набор структурных элементов, которые объединяются в различные структурные системы [10–14]. Таким образом, из множества возможных вариантов несущих систем были выбраны четыре основные концепции.

Концепция № 1 состоит из несущих элементов, которые выполнены из дерева в виде каркасно-ствольной конструкции. Расположение несущих элементов совпадает с несущей системой эталонного здания из монолитных железобетонных конструкций на рисунке 1(а). Деревянные колонны из клееного бруса выступают в качестве вертикальных несущих элементов. Перекрытия выполнены из панелей CLT. Стоит отметить, что перекрытия из CLT – это единственный тип деревянной конструкции, который повторяется в других концепциях.

Чтобы придать конструкции горизонтальную жесткость, во всех концепциях присутствует

ядро жесткости в виде монолитной шахты лифта и лестничной клетки. Было принято решение оставить материал ядра жесткости из монолитного железобетона в связи с соблюдением требований пожарной безопасности при эвакуации людей в случае пожара согласно и основным положениям Федерального закона РФ №123 от 22.07.2008 г. [15].

Концепция № 2 содержит несущие элементы, изготовленные из дерева с добавлением диафрагм жесткости из панелей CLT. Эта версия несущей рамы была разработана на основе концепции № 1. Чтобы придать конструкции жесткость, было решено добавить вертикальные диафрагмы жесткости из панелей CLT на всех этажах здания на рисунке 1 (б). Эти конструктивные элементы находились в двух плоскостях здания, проходящих через центр здания.

Концепция № 3 имеет внешние ограждающие конструкции, выполненные из панелей CLT. В этом варианте было решено реализовать, помимо вертикальных колонн здания, вариант несущей конструкции здания в виде внешних ограждающих конструкций. Этот тип конструкции изготовлен из панелей CLT толщиной 350 мм.

На рисунке 1(в) показано, что все элементы концепции № 4 выполнены из дерева с добавлением внешней решетчатой конструкции. За основу взята несущая система концепции 1. Для дополнительной жесткости конструкции добавлена внешняя решетчатая конструкция из деревянных линейных элементов, изготовленных из клееных деревянных балок. Решетчатая конструкция расположена по диагонали между вертикальными наружными колоннами.

Для определения целесообразности реализации многоэтажных деревянных зданий представленные модели расчетов несущей способности конструкции были рассчитаны с использованием программных продуктов трехмерного проектирования с последующими расчетами с помощью Autodesk Robot Structural. При помощи расчетной программы были получены результаты значений изгибающих и внутренних напряжений, возникающих в поперечных сечениях несущих элементов. Для проведения дальнейших исследований, расчет несущей способности в программном комплексе был выполнен для каждого элемента несущих конструкций зданий. Полученные значения результатов поэтажно суммировались для облегчения процесса исследования, после чего был проведен сравнительный анализ несущих характеристик в различных типах конструктивных систем.

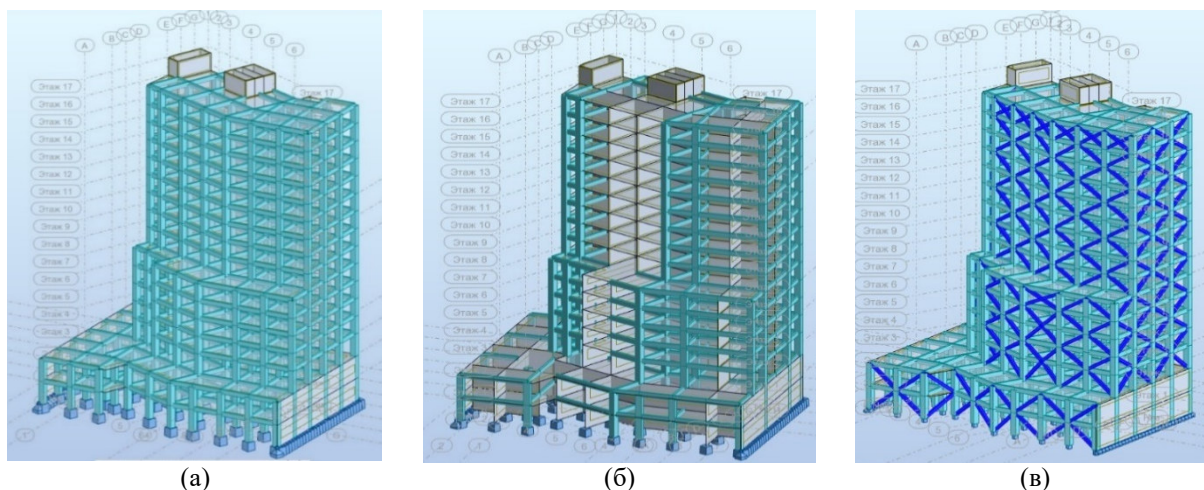


Рис. 1. Разработка проектной модели с использованием Autodesk Robot Structural:

а) Концепция № 1; б) Концепция № 2; в) Концепция № 4

Основная часть. Представленные ниже результаты направлены на визуальное отображение работы несущей конструкции многоэтажного

здания в виде графических диаграмм сил и напряжений, возникающих в несущих элементах конструкции под действием приложенных горизонтальных и вертикальных нагрузок.

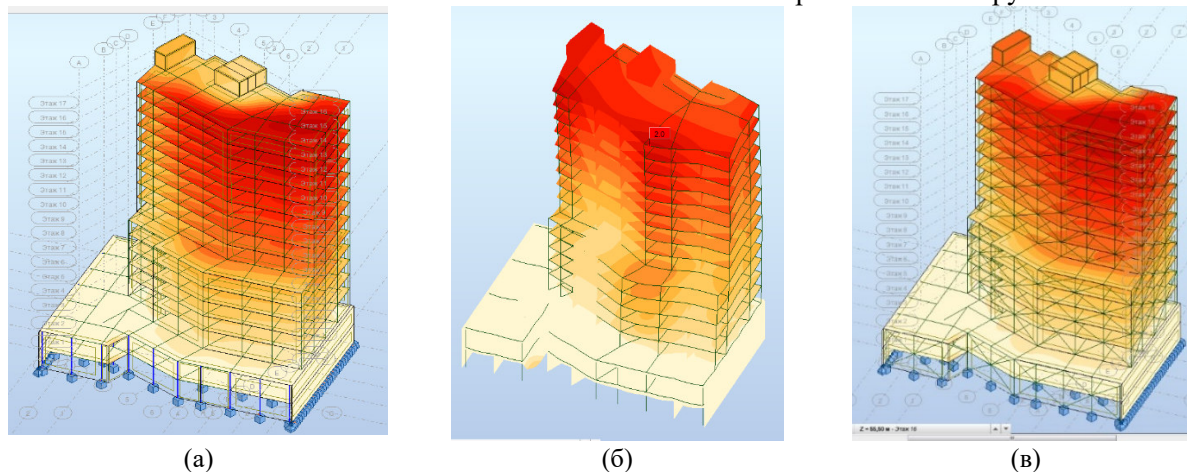


Рис. 2. Расчет модели при действии внешних нагрузок:

а) Концепция № 1; б) Концепция № 2; в) Концепция № 4

Расчеты несущей конструкции Концепции 1 показали, что существует равномерное распределение вертикальной нагрузки между элементами от первого до последнего этажа. Согласно диаграмме продольных сил элементов Концепции 1 на рисунке 3(а), можно наблюдать равномерное увеличение вертикальных нагрузок на нижележащие колонны. Согласно представленной диаграмме, на деревянные колонны приходится около 40 % вертикальной нагрузки, в то время как 60 % вертикальной нагрузки приходится на монолитный железобетонный сердечник жесткости.

Но на том же графике на рисунке 3(а) наблюдается неравномерность изгибающих сил, возникающих в несущих деревянных колоннах здания от действия вертикальных и горизонтальных нагрузок в виде воздействия ветра на фасад здания. Это связано с отсутствием вертикальных диафрагм жесткости и наличием шарнирного узла крепления колонны. Как видно на графике,

равномерность увеличения изгибающих усилий сердечника жесткости от верхних этажей до основания здания объясняется прочностью конструкции железобетонного сердечника.

В дополнение к анализу основных усилий, возникающих в несущих элементах Концепции 1, были собраны значения сил поперечного сечения, возникающих в несущих элементах от действия вертикальных и горизонтальных нагрузок. Графическое представление общей картины поперечных усилий показано на рисунке 3(б) в виде диаграммы. Стоит отметить, что поперечные усилия деревянных стен преобладают в нижней части здания и постепенно уменьшаются с увеличением высоты здания. Это объясняется разнообразностью планировочных решений на разных ярусах здания. На рисунках № 1 четко проглядываются три яруса, которые отличаются друг от друга площадью этажа и расположением несущих элементов на этаже. Ярусность здания проглядывается на графике в виде скачкообразного

уменьшения значений усилий несущих элементов. Это связано с уменьшением несущих элементов на этаже и включением в работу несущих деревянных колонн. На диаграмме поперечных усилий на рисунке 3(б) видно резкое снижение значений поперечных усилий несущих стен и в

тоже время увеличение значений поперечных усилий деревянных колонн. Данные изменения поперечных усилий, возникающих в несущих элементах, иллюстрирует работу разного типа несущих элементов в разных частях здания.

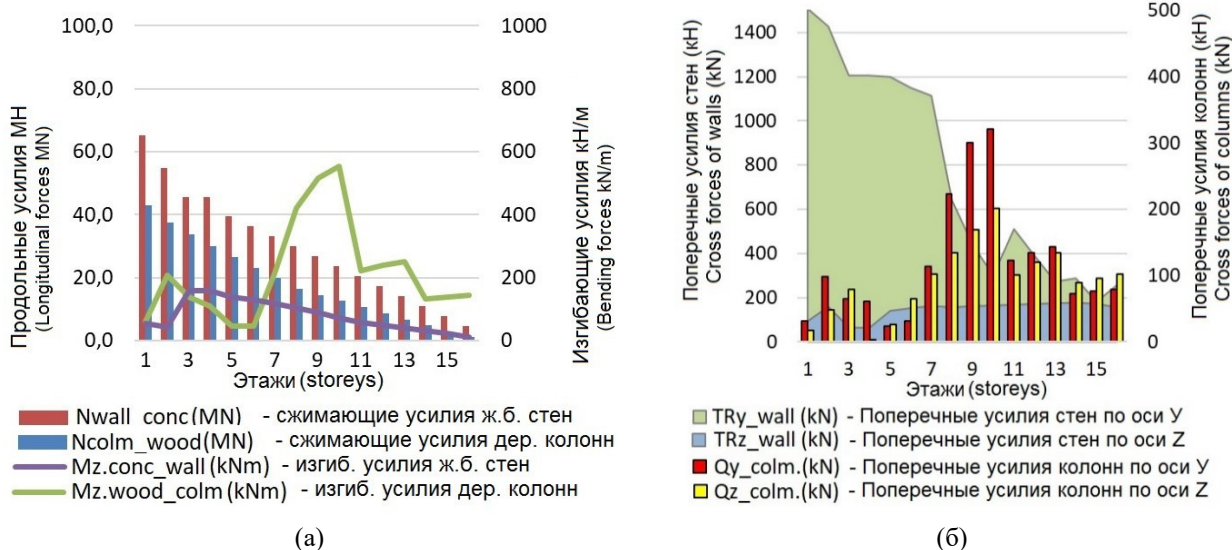


Рис. 3. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 1: а) продольные усилия элементов; б) диаграмма поперечных усилий несущих элементов

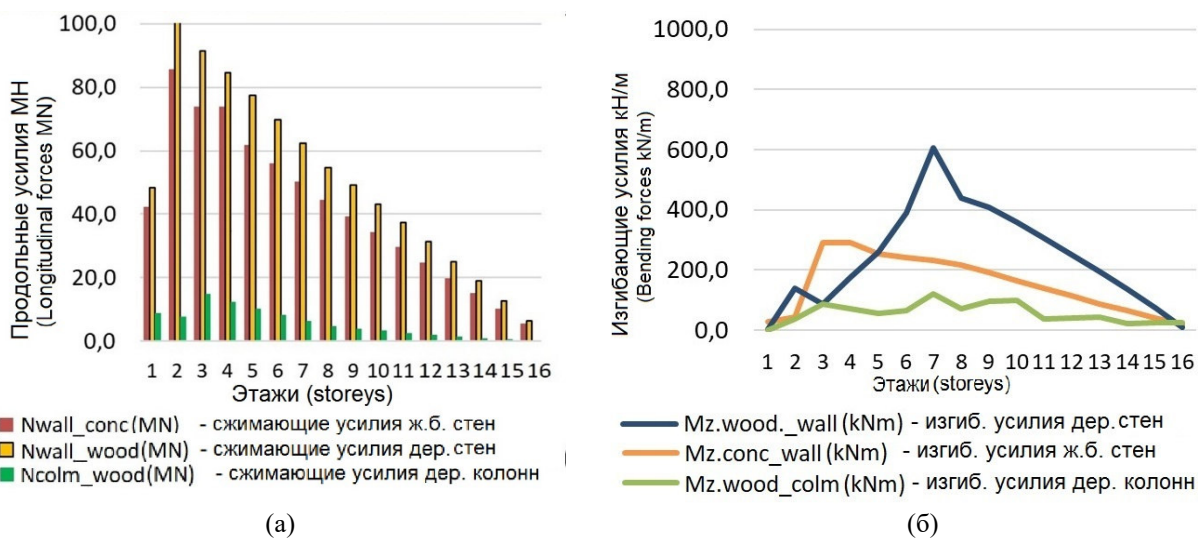


Рис. 4. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 2: а) продольные силы элементов; б) изгибающие силы на элементах

Результаты расчетов несущей конструкции Концепции 2 показали значительное увеличение вертикальной нагрузки на элементы на рисунке 4(а). Из-за массивности деревянных панелей CLT несущая конструкция здания стала тяжелее по сравнению с первым вариантом. Как и в первом варианте, наблюдается равномерное распределение всех вертикальных нагрузок между конструктивными элементами здания от первого этажа до последнего.

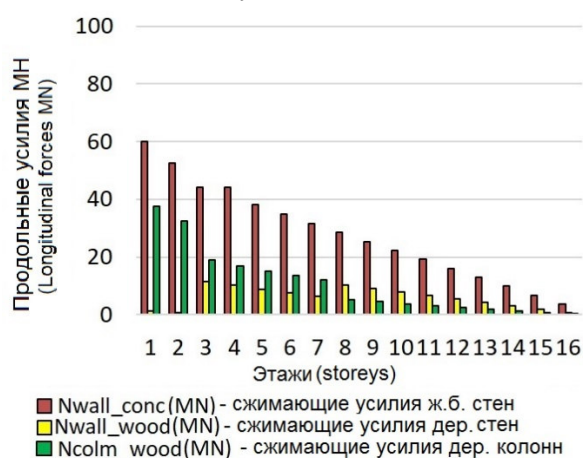
Из-за увеличения массы конструкции происходит увеличение изгибающих усилий в элементах конструкции. Аналогично, как и в первом ва-

рианте, монолитное ядро жесткости имеет равномерное распределение изгибающих усилий по всем этажам здания и в то же время, в меньшей степени, равномерность изгибающих усилий деревянных диафрагм, показанных на рисунке 4(б). Согласно графику изгибающих сил элементов Концепции 2, наблюдается скачок изгибающих сил диафрагм жесткости. Предположительно, это связано с особенностью планировки этажей здания, поскольку планировка этажей в здании имеет три разных варианта. На представленной расчетной схеме видно, что у здания есть три ва-

рианта изменения планировки. Скачок изгибающих сил происходит в точке перехода от одного варианта к другому.

Это происходит из-за воздействия ветровой нагрузки, из-за неравномерного распределения боковых сил. На рисунках 2 показано автоматическое моделирование силы ветра с помощью программного пакета Autodesk Robot.

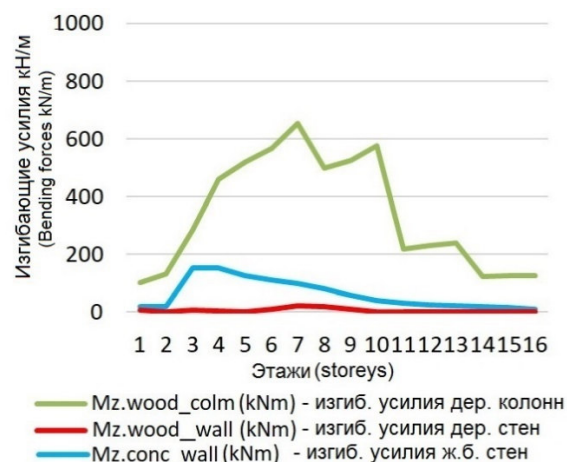
На рисунке 5(а) показаны результаты испытаний несущей конструкции третьего показанного варианта. Наблюдается небольшое увеличение вертикальной нагрузки на железобетонный сердечник жесткости. Увеличение массы конструкции за счет добавления вторичных несущих элементов было перераспределено между наружными стенами и несущими колоннами.



(а)

Также стоит отметить, что по сравнению с результатами расчетов предыдущих вариантов часть вертикальной нагрузки переместилась с несущих колонн и стержня жесткости на наружные деревянные стены.

Согласно графику продольных сил элементов, показанному на рисунке 5(б), 23 % вертикальной нагрузки приходится на деревянные колонны, 62 % приходится на монолитный железобетонный сердечник жесткости и 15 % приходится на деревянные наружные стены из панелей CLT. При расчете вертикальной нагрузки учитывался собственный вес конструкций. Это объясняет большой процент восприятия вертикальной нагрузки монолитным сердечником жесткости.



(б)

Рис. 5. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 3: а) продольные силы элементов; б) изгибающие силы на элементах

После расчета элементов Концепции 4 стоит отметить, что нет никаких изменений с точки зрения вертикальных нагрузок по сравнению с Концепцией 1. Распределение вертикальных нагрузок по этажам имеет аналогичную тенденцию к увеличению от верхних к нижним этажам Концепции 1. Это связано с незначительным весом дополнительных конструкций, которые вносят небольшой вклад в общий вес всей конструкции Концепции 4.

Согласно графику продольных сил элементов Концепции 4 на рисунке 6(а), 40 % вертикальной нагрузки приходится на деревянные колонны, а 60 % приходится на железобетонный сердечник. Решетчатая конструкция в данном случае является вспомогательным элементом несущей конструкции, выполняющим роль стабилизатора, распределяющего приложенные силы между элементами конструкции.

Расчет представленной конструкции был выполнен с использованием программного пакета Autodesk Robot Structural с учетом характеристик

используемых материалов и нормативных предельных значений в соответствии с нормативной документацией.

Полученные результаты поперечных сечений несущих элементов соответствуют современным противопожарным требованиям. Для надежной эксплуатации всей конструкции здания в условиях пожара несущие элементы из дерева должны иметь нормативные показатели огнестойкости. Таким образом, деревянные элементы имеют увеличенное поперечное сечение, учитывая количество обугливания древесины [5, 6].

Согласно диаграмме поперечных сил Концепции № 1, монолитный стержень жесткости вносит больший вклад в общее сопротивление горизонтальным ударам на рисунке 3(б). Но стоит отметить, что стержень жесткости плавно воспринимает поперечные силы от колонн с 8-го этажа. С 8-го по 16-й этажи деревянные колонны способствуют устойчивости несущей конструкции под действием горизонтальной силы ветра.

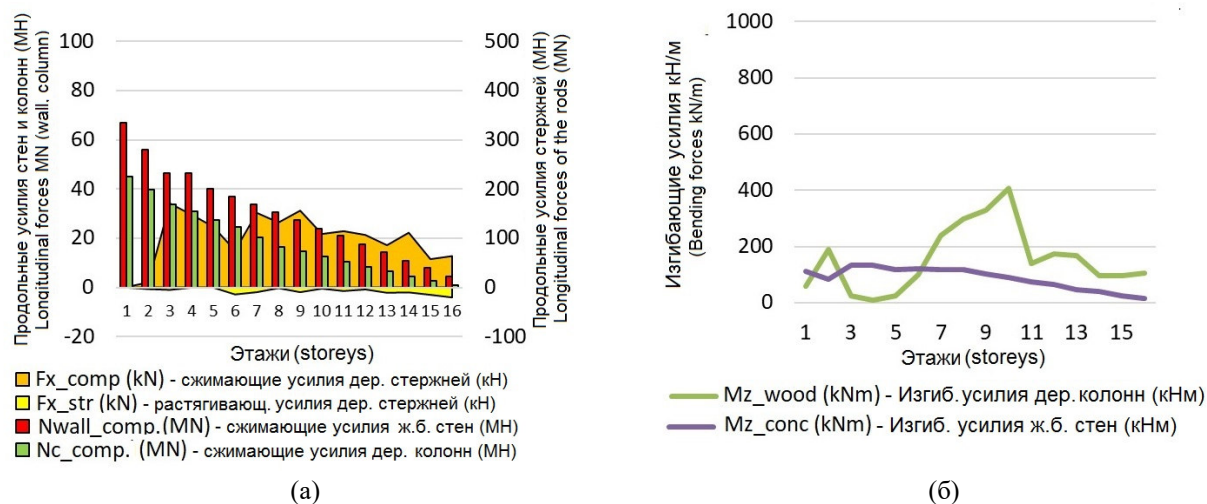


Рис. 6. Графические результаты расчета Концепции несущей конструкции здания 4:
а) продольные силы элементов; б) изгибающие силы на элементах

Благодаря добавлению диафрагм жесткости в конструкцию Концепции 2 изгибающие моменты между колоннами были равномерно распределены между собой относительно первого варианта.

Стоит отметить, что большую часть нагрузки воспринимают деревянные стены. Общее распределение всей вертикальной нагрузки между элементами на деревянных колоннах составляет 5 %, 40 % приходится на монолитный железобетонный сердечник и 55 % – на деревянные внутренние стены из панелей CLT.

Согласно графику изгибающих сил элементов несущей конструкции 3, из-за небольшого увеличения массы несущей конструкции наблюдается небольшое увеличение изгибающих сил элементов. По сравнению с вариантом 1 наблюдается равномерное увеличение изгибающих усилий несущих деревянных колонн на средних этажах здания.

Аналогичным образом контролируется равномерность распределения значений изгибающих усилий несущих элементов. Значения изгибающих усилий деревянных колонн и монолитного ядра жесткости уменьшились за счет добавления дополнительной жесткости за счет строительства наружных деревянных стен.

Учитывая Концепцию 4, удалось снизить значения изгибающих сил в элементах по сравнению с Концепцией 1 за счет добавления диагональных связей на фасаде здания. Но добиться значительного распределения изгибающих усилий элементов конструкции не удалось. Как и в концепции 1, на рисунке б(б) наблюдается неравномерность изгибающих усилий на элементах на разных этажах.

Выводы. Согласно представленным диаграммам сил и напряжений несущих деревянных элементов, каждый рассматриваемый вариант несущей конструкции, где древесина выступает в

качестве основного материала, имеет несколько плюсов и минусов.

Например, концепция № 1 имеет равномерное распределение нагрузок между элементами, но в то же время наблюдается неравномерность изгибающих усилий в элементах конструкции. Концепция № 2 благодаря добавлению диафрагм вес строительной конструкции увеличился. Увеличение массивности конструкции увеличивает способность выдерживать боковые ветровые нагрузки, но при этом наблюдается увеличение изгибающих усилий в элементах конструкции. Концепция 3, обладающая равномерным распределением нагрузок, также имеет большой вес деревянных конструкций. Концепция 4 имея небольшой вес конструкции, как Концепция № 1, конструкция имеет хорошее распределение нагрузки между элементами и имеет хорошие показатели несущей способности конструкции.

Таким образом, основой для таких разработок является: поиск оптимальной конструкции несущей конструкции, которая будет сочетать в себе положительные стороны всех вышеперечисленных концепций.

Основываясь на результатах исследований различных конструктивных решений, где в качестве основного несущего материала используется древесина, можно сделать вывод, что использование деревянных элементов в качестве основных несущих конструкций является альтернативным вариантом для железобетонных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Voulpiotis K., Kohler J., Jockwer R., Frangi A. A holistic framework for designing for structural robustness in tall timber buildings. // Engineering Structures. 2021. №227. Pp. 111432.

2. Abrahamsen R. Mjøstårnet - Construction of an 81 m tall timber building. // Materials 23-Internationales Holzbau-Forum IHF. Garmisch-Partenkirchen, Alemania. 2017. Pp. 3–12 DOI:10.3989/ic.71578.

3. Sanner J., Fernandez A., Foster R. River Beech Tower: A Tall Timber Experiment // CTBUH Journal. 2017. Pp. 40–46.

4. Malol K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnaes M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building «Treet» in Norway // European Journal of Wood and Wood Products. 2016. №74. Pp. 407–424. DOI:10.1007/s00107-016-1022-5.

5. Tiso M., Just A., Mäger K.N. Behavior of Wooden Based Insulations at High Temperatures // Energy Procedia. 2016. Vol. 96. Pp. 729–737.

6. Pulakka S., Varesa S., Nykänena E., Saarib M., Häkkinena T. Lean production of cost optimal wooden nZEB // Energy Procedia. 2016. Vol. 96. Pp. 202–211.

7. Ruuska A., Häkkinen T. Material Efficiency of Building Construction // In: Buildings. 2016. №4. Pp. 266–294.

8. Häkkinen T., Kuittinen M., Ruuska A., Jung N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings // J. Build. Eng. 2015. №4. Pp. 1–13. DOI:10.1016/j.job.2015.06.005.

9. Konovalov M., Kozinets G. Prospects for the multi-storey buildings construction using wooden

structures. // IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. Bristol. 2019. №2. Vol. 698. DOI:10.1088/1757-899X/698/2/022062M.

10. Ramage M., Foster R., Smith S., Flanagan K., Bakker R. Super Tall Timber: design research for the next generation of natural structure // J. Archit. 2017. №22. Pp. 104–122 DOI:10.1080/13602365.2016.1276094.

11. SOM. Timber Tower Research Project // Ski Owings Merrill LLP. 2013. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.

12. Köhler J. Reliability of Timber Structures, in Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering // ETH Zurich: Zurich. 2006. Pp. 237. DOI:10.2788/052881.

13. Fryer B., Foster R., Ramage M. Size effect of large scale timber columns // Materials WCTE 2018 - World Conf Timber Eng. 2018.

14. Jockwer R., Frohlich R., Wydler J., Voulpiotis K., Schabel J., Frangi A. Deformation behavior of highly loaded elements in tall timber buildings // Materials WCTE 2018 – World Conf. Timber Eng. 2018.

15. Xiuyu L., Hao Z., Qingming Z. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures // Material 2012 International Symposium on Safety Science and Technology. Procedia Engineering. 2012. №45. Pp. 643–648. DOI:10.1016/J.PROENG.2012.08.216.

Информация об авторах

Коновалов Михаил Александрович, аспирант высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. E-mail: mikhail.konovalov.94@gmail.com. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, к.10.

Поступила 10.03.2022 г.

© Коновалов М.А., 2022

Konovalov M.A.

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
E-mail: mikhail.konovalov.94@gmail.com*

THE USE OF WOODEN STRUCTURES AS AN ALTERNATIVE REPLACEMENT FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN A MULTI-STOREY BUILDING

Abstract. *Wooden structures are a substitute for such concepts as environmental friendliness and naturalness, therefore reinforced concrete structures are currently the main building material for the construction of multi-story buildings in Russia. The idea of building wooden multi-storey buildings is becoming more and more relevant every year. The emergence of new technologies and materials make this area of construction promising. Possible variants of structural systems using wooden elements are considered, based on the existing experience of using wooden structures as load-bearing elements of structures. The existing office building in St. Petersburg is taken as a basis. It is built using reinforced concrete structures. Calculations show, the proposed variants of building models using wooden structures are not inferior in physical, mechanical, and load-bearing indicators to a similar building made of reinforced concrete structures, moreover they surpasses in some cases. The experimental part of the work is aimed at the complete replacement of reinforced concrete structures with wooden ones. The results could make the construction of such structures profitable, but at the*

same time reducing the time for construction. Confirmation of this fact can be observed on successfully implemented multi-story buildings in European countries.

Keywords: multi-storey construction, wooden construction, wooden building structures, structural systems, wood, unique structure.

REFERENCES

1. Voulpiotis K., Kohler J., Jockwer R., Frangi A. A holistic framework for designing for structural robustness in tall timber buildings. *Engineering Structures*. 2021. No. 227. Pp. 111432.
2. Abrahamsen R. Mjøstårnet - Construction of an 81 m tall timber building. *Materials 23-Internationales Holzbau-Forum IHF. Garmisch-Partenkirchen, Alemania*. 2017. Pp. 3–12. DOI:10.3989/ic.71578.
3. Sanner J., Fernandez A., Foster R. River Beech Tower: A Tall Timber Experiment. *CTBUH Journal*. 2017. Pp. 40–46.
4. Malo K.A., Abrahamsen R.B., Bjertnaes M.A. Some structural design issues of the 14-storey timber framed building «Treet» in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2016. No. 74. Pp. 407–424. DOI:10.1007/s00107-016-1022-5.
5. Tiso M., Just A., Mäger K.N. Behavior of Wooden Based Insulations at High Temperatures. *Energy Procedia*. 2016. Vol. 96. Pp. 729–737.
6. Pulakka S., Varesa S., Nykänena E., Saarib M., Häkkinena T. Lean production of cost optimal wooden nZEB. *Energy Procedia*. 2016. Vol. 96. Pp. 202–211.
7. Ruuska A., Häkkinen T. Material Efficiency of Building Construction. In: *Buildings*. 2016. No. 4. Pp. 266–294.
8. Häkkinen T., Kuittinen M., Ruuska A., Jung N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings. *J. Build. Eng.* 2015. No. 4. Pp. 1–13. DOI:10.1016/j.jobbe.2015.06.005.
9. Kononov M., Kozinets G. Prospects for the multi-storey buildings construction using wooden structures. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. Bristol. 2019. No. 2. Vol. 698. DOI:10.1088/1757-899X/698/2/022062M.
10. Ramage M., Foster R., Smith S., Flanagan K., Bakker R. Super Tall Timber: design research for the next generation of natural structure. *J. Archit.* 2017. No. 22. Pp. 104–122. DOI:10.1080/13602365.2016.1276094.
11. SOM. Timber Tower Research Project. *Ski Owings Merrill LLP*. 2013. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004.
12. Köhler J. Reliability of Timber Structures, in *Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering. ETH Zurich: Zurich*. 2006. Pp. 237. DOI:10.2788/052881.
13. Fryer B., Foster R., Ramage M. Size effect of large scale timber columns. *Materials WCTE 2018 - World Conf Timber Eng.* 2018.
14. Jockwer R., Frohlich R., Wydler J., Voulpiotis K., Schabel J., Frangi A. Deformation behavior of highly loaded elements in tall timber buildings. *Materials WCTE 2018 - World Conf. Timber Eng.* 2018.
15. Xiuyu L., Hao Z., Qingming Z. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures. *Material 2012 International Symposium on Safety Science and Technology. Procedia Engineering*. 2012. No. 45. Pp. 643–648. DOI:10.1016/J.PROENG.2012.08.216.

Information about the authors

Kononov, Mikhail A. Postgraduate student. E-mail: mikhail.kononov.94@gmail.com. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29, room 10.

Received 10.03.2022

Для цитирования:

Коновалов М.А. Использование деревянных конструкций в качестве альтернативной замены железобетонным конструкциям в многоэтажном здании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 17–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

For citation:

Kononov M.A. The use of wooden structures as an alternative replacement for reinforced concrete structures in a multi-storey building. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022. No. 6. Pp. 17–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24