

УДК 694.1

БАГАТОПОВЕРХОВЕ ДЕРЕВ'ЯНЕ ДОМОБУДУВАННЯ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІ ТА МАЙБУТНІ ПЕРСПЕКТИВИ

САВИЦЬКИЙ М.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*,ШЕХОРКІНА С. Є.^{2*}, *к.т.н.*,НІКІФОРОВА Т.Д.³, *д.т.н., доцент*,ШЛЯХОВ К. В.⁴, *к.т.н., доцент*

^{1*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: S_VT@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

³ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: manchich@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

⁴ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: blyahov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-6493-6201

Анотація. Будівництво з використанням деревини як основного конструктивного матеріалу набуває значної популярності у всьому світі. Цьому сприяє усвідомлення проблем оточуючого середовища та пошук варіантів їх розв'язання шляхом розробки та впровадження інноваційних матеріалів, виробів та конструкцій. В зв'язку з перевагами дерев'яного будівництва з точки зору стійкого розвитку та циркулярної економіки останнім часом багатьма авторами проводяться дослідження, а також реалізуються пілотні проекти з метою вивчення фізико-механічних характеристик та експлуатаційних показників багатоповерхових дерев'яних будівель. **Мета.** Проаналізувати та систематизувати дані щодо сучасних розробок в галузі багатоповерхового дерев'яного домобудування. **Результати.** Розглянуті основні фактори впливу будівельної галузі на навколишнє середовище та встановлені переваги застосування деревини як конструкційного будівельного матеріалу для вирішення глобальних екологічних проблем. Систематизовані останні напрацювання та дослідження в сфері дерев'яного будівництва, на прикладі реалізованих проектів багатоповерхових будівель виявлені характерні конструктивні рішення в залежності від поверховості. Приведено стислий огляд наукових робіт з розробки та дослідження конструктивних рішень висотних дерев'яних будівель. **Практичне значення.** Приведені дані сприятимуть розширенню можливостей застосування дерев'яних конструкцій в національній будівельній галузі України.

Ключевые слова: деревина, багатоповерхові будівлі, поверховість, конструктивне рішення

МНОГОЭТАЖНОЕ ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И БУДУЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

САВИЦЬКИЙ Н.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*,ШЕХОРКИНА С. Е.^{2*}, *к.т.н.*,НИКИФОРОВА Т. Д.², *д.т.н., доцент*ШЛЯХОВ К. В.³, *к.т.н., доцент*

^{1*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38(0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: S_VT@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: manchich@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

⁴ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: blyahov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-6493-6201

Аннотация. Строительство с использованием древесины как основного конструктивного материала приобретает большую популярность во всем мире. Этому способствует осознание проблем окружающей среды и поиск вариантов их решения путем разработки и внедрения инновационных материалов, изделий и конструкций. В связи с преимуществами деревянного строительства с точки зрения устойчивого развития и циркулярной экономики в последнее время многими авторами проводятся исследования, а также реализуются пилотные проекты с целью изучения физико-механических характеристик и эксплуатационных показателей многоэтажных деревянных зданий. **Цель.** Проанализировать и систематизировать данные о современных разработках в области многоэтажного деревянного домостроения. **Результаты.** Рассмотрены основные факторы влияния строительной отрасли на окружающую среду и установлены преимущества применения древесины как конструкционного строительного материала для решения глобальных экологических проблем. Систематизированы последние наработки и исследования в сфере деревянного строительства, на примере реализованных проектов многоэтажных зданий выявлены характерные конструктивные решения в зависимости от этажности. Приведен краткий обзор научных работ по разработке и исследованию конструктивных решений высотных деревянных зданий. **Практическое значение.** Приведенные данные будут способствовать расширению возможностей применения деревянных конструкций в национальной строительной отрасли Украины.

Ключевые слова: древесина, многоэтажные здания, этажность, конструктивное решение

MULTY-STORY WOOD CONSTRUCTION: CURRENT TRENDS AND FUTURE PROSPECTS

SAVYTSKYI M.V.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SHEKHORKINA S. YEV.^{2*}, *Ph.D.*,
NIKIFOROVA T. D.³, *Dr. Sc., Docent*,
SLYAKHOV K. V.⁴, *Ph.D., Docent*

^{1*}Department of Reinforced Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Department of Reinforced Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail: S_VT@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

³ Department Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Education Establishment "Pridniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, e-mail: manchich@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

⁴ Department Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Education Establishment "Pridniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, e-mail: 6lyahov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-6493-6201

Summary. Construction which utilizes timber as main structural material is gaining high popularity throughout the world. This is facilitated by the awareness of environmental problems and the search for solutions to them through the development and implementation of innovative materials, products and structures. Due to the advantages of timber construction from the point of view of sustainable development and the circular economy, recently many authors have been carrying out research and pilot projects have been implemented to study the physical and mechanical characteristics and performance indicators of multi-storey timber buildings. **Purpose.** To analyze and systematize data on modern developments in the field of multi-storey timber construction. **Results.** The main factors of the construction industry environmental impact are considered and the advantages of using timber as a structural building material for solving global environmental problems are established. The latest developments and researches in the field of timber construction are systematized; specific structural solutions depending on the number of storeys are revealed on the example of realized projects of multi-storey buildings. The brief review of scientific works on development and research of structural solutions of high-rise timber buildings is given. **Practical value.** The given data will promote expansion of possibilities of application of timber structures in national construction industry of Ukraine.

Key words: wood, multi-story buildings, number of storeys, structural solution

Деревянные здания в контексте устойчивого развития. Различные виды деятельности характеризуются различной степенью экологической опасности, тем не менее, около половины всех невозобновляемых ресурсов, потребляемых человечеством, используются в строительстве. По данным различных авторов [1], строительная отрасль оказывает значительное влияние на большинство факторов загрязнения окружающей среды (рис. 1).

Основными последствиями традиционной строительной отрасли являются чрезмерное использование энергии, глобальное потепление и изменение климата. Энергия расходуется при добыче сырья, производстве материалов (производственный процесс), транспортировке материалов, транспортировке рабочей силы, строительстве зданий, эксплуатации, ремонте и ликвидации сооружений. Согласно данным многих исследований

до 50% выбросов углекислого газа приходится на строительную индустрию. Кроме того, ущерб окружающей среде на этапе ликвидации и утилизации здания, может быть эквивалентным его воздействию в течение всего жизненного цикла. Все эти факторы делают строительство одной из наименее устойчивых отраслей в мире.

Проблемы глобальных климатических изменений и осознание реальной опасности экологической катастрофы привели к появлению новой парадигмы устойчивого развития [2], которая подразумевает гармонизацию факторов производства и повышения качества жизни современного и следующих поколений при условии сохранения и воспроизведения окружающей среды. Устойчивое строительство включает в себя такие вопросы, как энергоэффективность и ресурсоэффективность в строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании зданий, использование возобновляемых источников энергии, экологически безопасных материалов, взаимозависимость ландшафта, городской инфраструктуры и архитектуры и т.п.

Следующим шагом, стало принятие стратегии циркулярной экономики [3], основанной на повторном использовании продуктов и сырья, а также способности природных ресурсов к самовосстановлению. Основные критерии циркулярной экономики: противодействие истощению природных ресурсов; поэтапный отказ от технологий, продуцирующих отходы, выбросы парниковых газов и использование опасных веществ, и осуществление полного перехода к возобновляемым и устойчивым источникам энергии.

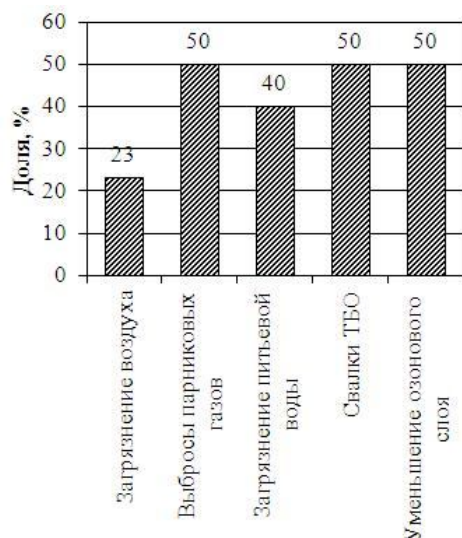


Рис. 1. Доля строительной отрасли в глобальном загрязнении окружающей среды / Share of the construction industry in global pollution of the environment

В сегодняшней традиции строительства до сих пор преобладает использование стали и бетона. Эти строительные материалы имеют высокие показатели,

характеризующие прочность, долговечность, хорошо изучена их работа в различных средах, в том числе при высокой сейсмической и ветровой нагрузках. В связи с этим в течение длительного периода они были исторически приемлемым выбором для подавляющего большинства зданий и сооружений. Тем не менее, огромным недостатком бетона и стали является большой углеродный след (количество выделенных парниковых газов), отходы в процессе производства и утилизации, высокоэнергетические методы производства и использование невозобновляемых ресурсов. Новые критерии развития общества ставят под сомнение повсеместное использование двух наиболее распространенных конструкционных материалов и заставляют искать альтернативные материалы и конструктивные решения.

Согласно данным [5] производство стальных и бетонных конструкций затрачивает на 26% и 57% больше энергии, соответственно, по сравнению с деревом, продуцирует на 34% и 81% больше выбросов парниковых газов и на 24% и 47% больше загрязняющих веществ в атмосферу, вызывают на 400% и 350% больше загрязнения воды, производит на 8% и 23% больше твердых отходов и использует на 11% и 81% больше ресурсов. Рис. 2 иллюстрирует взаимосвязь между выбросами углекислого газа наиболее распространенных строительных материалов [1].

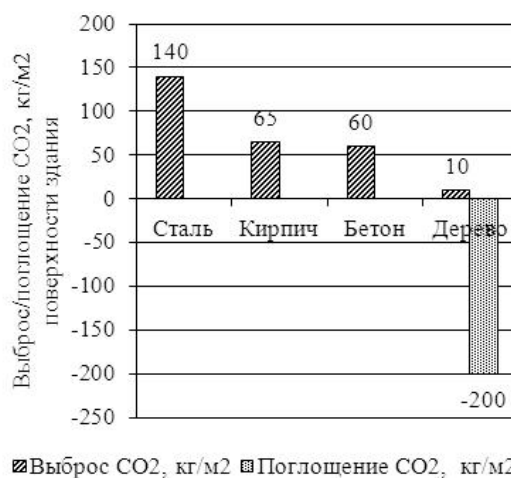


Рис. 2. Взаимосвязь между выбросами углекислого газа наиболее распространенных строительных материалов [1] / Relationship between carbon dioxide emissions for common building materials

Процесс производства древесины потребляет меньше энергии, чем бетон, сталь и кирпичная кладка, и, следовательно, характеризуется меньшим уровнем выбросов парниковых газов в течение производственного процесса, чем традиционные строительные материалы. К положительным качествам древесины можно отнести способность естественным путем поглощать углекислый газ из окружающей среды и, благодаря особенностям микроструктуры, удерживать его в своих клетках.

Производство строительных изделий из древесины характеризуется замкнутостью жизненного цикла за счет использования быстровозобновляемых древесных пород, возможности применения отходов для изготовления отделочных элементов, мебели и др., а некондиционных отходов в качестве биотоплива. Кроме того, при правильной организации и менеджменте деятельности, связанной с заготовкой и переработкой древесины, последняя не является конечным ресурсом и быстро обновляется. Таким образом, древесина имеет высокий потенциал как строительный конструкционный материал с точки зрения критериев устойчивого развития и циркулярной экономики и может способствовать решению перечисленных выше проблем.

Эволюция деревянного строительства.

Исторически сложилось так, что здания из дерева с точки зрения пожарной безопасности были категорированы иначе, чем из железобетона, стали и камня, менее уязвимых к воздействию огня. В связи с этим требованиями строительных нормативных документов по пожарной безопасности в большинстве стран ограничивается этажность и площадь деревянных зданий. При этом данные ограничения сильно различаются во всем мире (рис.3): начиная от двух этажей в Украине [4], заканчивая Великобританией, где высота не ограничивается при условии обеспечения требуемого уровня безопасности [5].

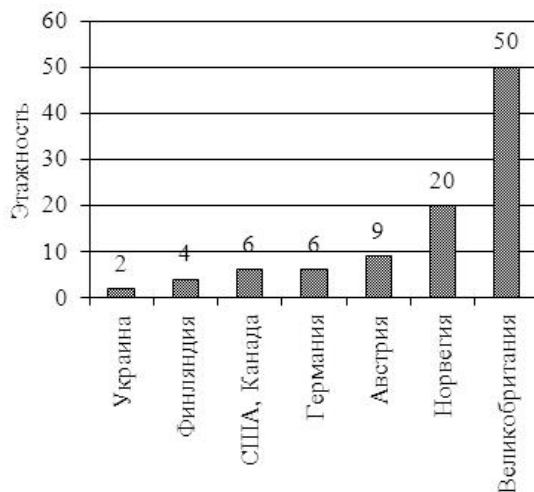


Рис. 3. Максимальная высота здания с деревянными конструкциями в различных странах / *Maximum height of building with timber structures in different countries*

До недавнего времени в большинстве стран деревянное строительство было представлено малоэтажными зданиями и сооружениями, построенными по каркасной технологии из традиционных пиломатериалов (брус, доска). Наряду с этим, широкое распространение в строительстве спортивных, павильонных, выставочных зданий, церквей и других типов сооружений приобрели

большепролетные деревянные балки и колонны, изготовленные путем склеивания нескольких слоев пиломатериалов (клееный брус) или шпона (ЛВЛ-брус) с параллельным расположением волокон смежных слоев. Разработки новых видов инженерных изделий из древесины (различные формы конструкционного композитного бруса из древесных пластиков, деревянных двутавровых балок-двойств, композитных древесных панелей) значительно расширили варианты решений для деревянных конструкций. Эти разработки, в сочетании с интересом к более экономичному строительству, привели к увеличению количества 4 и 5-этажных зданий, возводимых по технологии деревянно-каркасного домостроения. Развитие деревянного строительства продолжается и сегодня. Благодаря новейшим Европейским разработкам потенциал увеличения высоты здания с деревянными конструкциями резко возрос. Одной из них является перекрестно-клееная древесина (CLT-панели), которые представляют собой композитное изделие, изготовленное из нескольких склеенных между собой слоев дощатых пиломатериалов, каждый из которых располагается под прямым углом к предыдущему, по аналогии с листами фанеры.

На сегодняшний день можно выделить три базовые конструктивные системы деревянных зданий (рис. 4), в зависимости от этажности, применяемых конструкций и изделий из древесины:

1) каркасно-панельная схема состоит из пиломатериалов небольшого поперечного сечения, которые используются для стоек несущих стен, а также ферм перекрытия и покрытия или балок-двойств. Несущая способность и пространственная жесткость стен здания обеспечивается панелями обшивки, как правило, из OSB-плит. Аналогичным образом обшиваются и элементы перекрытия. Недостатком данной схемы является проблема обеспечения устойчивости здания к ветровым нагрузкам, в связи с этим его этажность ограничивается 2-4 этажами;

2) рамно-связевая схема с использованием колонн и балок большого поперечного сечения. Элементы каркаса изготавливаются из клееной древесины или составными из стандартных пиломатериалов. Пространственная жесткость здания обеспечивается системой вертикальных и горизонтальных связей. Данная схема может применяться для строительства многоэтажных зданий, однако область рационального применения ограничена ввиду чрезмерного увеличения сечения, что обусловлено возрастанием нагрузки, а также нормами пожарной безопасности;

3) бескаркасная крупнопанельная схема с продольными и поперечными несущими стенами. При возведении таких зданий используются сплошные панели перекрытия и стен из перекрестно-клееной древесины. Размеры панелей соответствуют высоте этажа и величине пролета между несущими стенами. Пространственная жесткость и

устойчивость обеспечивается взаимной связью между панелями стен и перекрытий. Данная схема позволяет возводить здания до 10 этажей, включительно.

Реализованные проекты и новые разработки в области многоэтажного деревянного строительства. По мере практического использования этой технологии стало ясно, что ее потенциал не исчерпывается малоэтажным строительством. В Европе, США, Канаде появились и стали реализовываться проекты многоэтажных зданий из массивной древесины, размещаемых в городской застройке. Краткий обзор реализованных проектов многоэтажного деревянного строительства приведен в табл. 1. Иллюстрации отдельных зданий приведены на рис. 5.

Изучение опыта строительства рассмотренных зданий показало, что здания высотой до 10 этажей могут строиться с использованием только массивной клееной и перекрестно-клееной древесины. При этом в зависимости от назначения здания применяются различные конструктивные схемы. Так для зданий коммерческого назначения наиболее распространенной является каркасная схема, тогда как для жилых - панельная и каркасно-панельная. Для перекрытий, наряду с большепролетными перекрестно-клееными плитами, часто применяются гибридные ребристые конструкции с верхним слоем из железобетона, который играет роль дополнительной пожарозащиты, отсекая нижний этаж. Для обеспечения устойчивости здания на

действие горизонтальных нагрузок применяются диафрагмы из перекрестно-клееных деревянных панелей, а в случае увеличения этажности – ядра жесткости из монолитного или сборного железобетона.

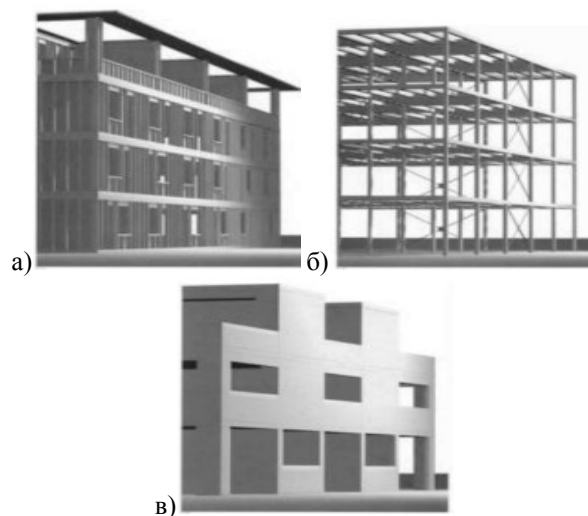


Рис. 4. Конструктивные системы деревянных зданий [6]: а) каркасно-панельная; б) рамно-связевая; в) бескаркасная крупнопанельная / Structural systems of timber buildings: a) light weight frame; b) heavy frame; c) massive timber system

Таблица 1

Краткий обзор реализованных проектов многоэтажного деревянного строительства / Brief review of realized projects of multy-story timber construction

Название проекта	Страна	Количество этажей	Завершение строительства	Назначение здания	Конструктивное решение
Panorama Giustinelli (рис. 4, б)	Италия	7	2013	Жилое	Ж/б диафрагмы жесткости/колонны и балки из клееной древесины
LifeCycle Tower ONE (рис. 4, а)	Австрия	8	2012	Офисное с выставочным центром	Ж/б ядро жесткости/деревожелезобетонное перекрытие/колонны из клееной древесины
Bridport House	Великобритания	8	2011	Жилое	Диафрагмы, ядро жесткости и несущие стены из перекрестно-клееной древесины/деревожелезобетонное перекрытие
Cenni di cambiamento (рис. 4, в)	Италия	9	2013	Жилое	Диафрагмы жесткости, несущие стены и перекрытия из перекрестно-клееной древесины
Murray Grove (рис. 4, г)	Великобритания	9	2009	Жилое с офисными помещениями	Диафрагмы, ядро жесткости, несущие стены и перекрытия из перекрестно-клееной древесины
Moholt 50/50	Норвегия	9	2016	Студенческое общежитие	Диафрагмы жесткости, несущие стены и перекрытия из перекрестно-клееной древесины
Origine Condos (рис. 4, д)	Канада	13	в процессе строительства	Жилое	Первый этаж из монолитного ж/б; диафрагмы, ядро жесткости, несущие стены и перекрытия из перекрестно-клееной древесины (12 этажей)
Brock Commons (рис. 4, е)	Канада	18	2017	Студенческое общежитие	Два ж/б ядра жесткости/колонны из клееной древесины/перекрытия из перекрестно-клееной древесины



Рис. 5. Примеры многоэтажных деревянных зданий / Examples of multi-story timber buildings: а) LifeCycle Tower ONE [7]; б) Panorama Giustinelli [9]; в) Cenni di cambiamento [9]; г) Murray Grove [10]; д) Origine Condos [11]; е) Brock Commons [12]

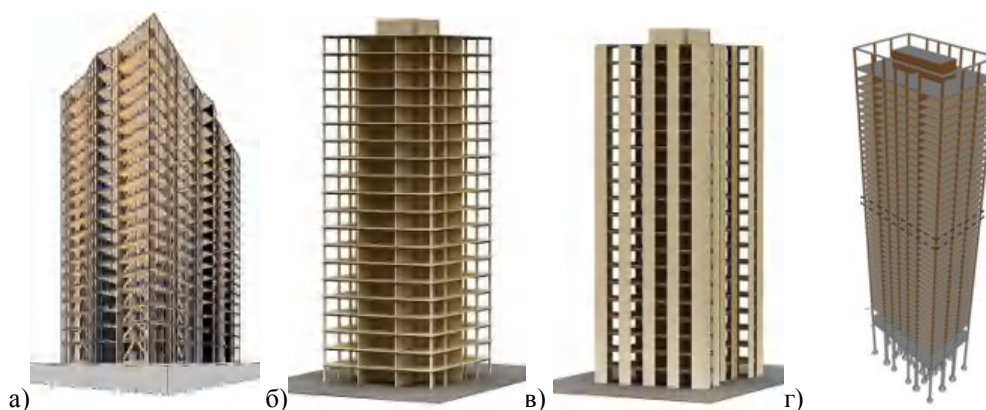


Рис. 6. Деревянные зданий гибридной конструкции / Hybrid structure timber buildings : а) Museum Tower Apartment [13]; б), в) FFTT system [5]; г) Timber Tower Research [14]

Помимо этого в настоящее время разрабатываются новые решения гибридных конструкций для строительства как многоэтажных, так и высотных зданий, в которых основным конструкционным материалом является дерево (до 80%), а для повышения сопротивляемости внешним нагрузкам используется железобетон или сталь.

Так в работе [13] представлены результаты исследования несущей способности и пожарной безопасности конструкций из массивной древесины по сравнению с аналогичной железобетонной

конструкцией существующего 20-ти этажного здания Museum Tower Apartment (рис. 6, а). Несущая система исследуемого здания выполнена по рамно-связевой схеме и представляет собой систему из 12 поперечных и продольных рам, объединенных дисками перекрытий. Колонны и балки здания выполнены из клееной древесины. Перекрытие представляет собой композитную конструкцию из CLT-панели с верхним слоем из железобетона. Пространственная жесткость здания обеспечивается за счет системы вертикальных связей из стальных

элементов, расположенных в крайних пролетах по периметру здания.

В работе [5] авторы обосновывают применение разработанной гибридной FFTT системы для зданий высотой 10-30 этажей (рис. 6, б, в). Здание по данной системе состоит в основном из деревянных элементов, которые используются для устройства центрального ядра и диафрагм жесткости, перекрытий, несущих стен и колонн. Система основана на подходе «прочная колонна/слабая балка», согласно которого вертикальные несущие элементы (колонны и стены) выполнены из клееной древесины и соединены между собой гибкими стальными балками, встроенными в толщину стеновых панелей. Стальные балочные элементы связывают между собой стеновые панели, обеспечивая пространственную жесткость всей системы, а также обеспечивают образование пластических шарниров и поглощение энергии при сейсмических воздействиях.

Будущие исследования по вышеперечисленным проектам предполагают выполнение лабораторных и натурных испытаний узловых соединений, а также пилотное строительство с последующей разработкой рекомендаций по проектированию высотных зданий гибридной конструкции.

Выводы. Традиционная строительная отрасль оказывает негативное влияние на окружающую среду по многим параметрам (выбросы парниковых газов,

накопление отходов, использование невозобновляемых ресурсов, чрезмерное энергопотребление и т.д.). Древесина обладает рядом преимуществ с точки зрения устойчивого развития и циркулярной экономики. Осознание глобальных экологических проблем и поиск путей их решения способствовали появлению инновационных решений на основе древесины как конструкционного строительного материала.

Проведенный анализ показал, что область применения деревянных конструкций не ограничивается одно-, двухэтажными зданиями. В последнее время во многих странах проводятся исследования, а также реализуются пилотные проекты с целью изучения физико-механических характеристик и эксплуатационных показателей многоэтажных деревянных зданий. Концептуально новые гибридные конструкции, благодаря совместной работе различных материалов, позволяют увеличить несущую способность и пространственную жесткость здания, что дает возможность высотного строительства из деревянных конструкций. Следовательно, применение древесины в многоэтажном строительстве является актуальным и перспективным направлением с точки зрения решения глобальных экологических проблем путем разработки и внедрения инновационных конструктивных решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. The Impacts of Construction and the Built Environment [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: www.willmottdixon.co.uk/asset/download/9462.
2. Du Pisani J. Sustainable development – historical roots of the concept [Электронный ресурс] / Jacobus A Du Pisani // Environmental Sciences. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15693430600688831>.
3. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy [Электронный ресурс] // European Commission. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF.
4. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги.
5. Green M. THE CASE FOR Tall Wood BUILDINGS [Электронный ресурс] / Michael C Green. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: www.cwc.ca/documents/.../Tall%20Wood%20Buildings%20-%20Final%20Report.pdf.
6. Bernhard G. Mass Timber Building Systems: Understanding the Options [Электронный ресурс] / Gafner Bernhard. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/NE-WSF-150916-GAFNER-Mass-Timber-Building-Systems.pdf>.
7. Zangerl M. LCT ONE [Электронный ресурс] / M. Zangerl, N. Tahan // Wood Design & Building. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: http://wooddesign.dgtlpub.com/2013/2013-02-28/pdf/LCT_ONE.pdf.
8. Panorama Giustinelli [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.panoramagiustinelli.it/en>.
9. Summary Report: Survey of International Tall Wood Buildings [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: http://www.rethinkwood.com/sites/default/files/Tall%20Wood/Survey%20Tall%20Wood_REPORT%20WITHOUT%20APPENDIC ES_web.pdf.
10. Stadthaus, 24 Murray Grove, London [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа до ресурсу: http://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf.
11. Tall Wood Gallery [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rethinkwood.com/tall-wood-mass-timber/tall-wood-gallery>.
12. UBC Brock Commons [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.naturallywood.com/emerging-trends/tall-wood/ubc-brock-commons>.
13. Mass Timber High-Rise Design Research: Museum Tower in Los Angeles Reimagined in Mass Timber [Электронный ресурс] / [M. Timmers, B. Rogowski, B. Jones та ін.] // SEAOC CONVENTION PROCEEDINGS. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Mass-Timber-Highrise-Design-Research.pdf>.
14. Timber Tower Research Project [Электронный ресурс] // Skidmore, Owings & Merrill, LLP. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.som.com/FILE/20378/timber-tower-final-report-and-sketches.pdf>.