

ПОДХОДЫ К ТИПОЛОГИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ

Афонин Виталий Сергеевич,

аспирант

Научный руководитель: доктор архитектуры З.К. Петрова
ЦНИИП Минстрой РФ, Россия, e-mail: vittalyaafonin@gmail.com

УДК 72.023

ББК 38.5

Аннотация

В статье рассматриваются конструктивные системы многоэтажных деревянных зданий и подходы к их типологизации. Выделяются достоинства и недостатки различных конструктивных систем, особенности их применения в зависимости от функциональной типологии здания. В работе выявлено два подхода к типологизации конструктивных систем многоэтажных деревянных зданий. Типологизация по структуре – подход, в рамках которого основанием для выделения типов является структурная организация несущей системы здания. В рамках данного подхода, как правило, выделяют стеновую, каркасную, модульную и ствольную конструктивную систему. Типологизация по материалу – подход, согласно которому основанием для выделения типов является принцип применения материала. Можно выделить полностью деревянные несущие системы и комбинированные несущие системы, включающие деревометаллические и деревобетонные конструктивные типы.

Ключевые слова:

деревянные многоэтажные здания, конструктивные системы, деревянные конструкции, массивное деревянное крупнопанельное строительство, устойчивое строительство

Введение

Проектирование и строительство многоэтажных деревянных зданий во многих странах (США, Канада, Австрия, Германия, Италия, Норвегия и др.) является активно развивающейся областью архитектурной практики. Древесина – экологичный возобновляемый ресурс, обладающий возможностью повторного использования, благодаря чему ее применение способствует снижению негативного воздействия от строительства зданий на окружающую среду.

Большинство развитых стран на сегодняшний день придерживаются парадигмы устойчивого развития, подразумевающей учет будущих потребностей человечества, следствием чего является стремление снижать экологические последствия человеческой деятельности для обеспечения экосистемам возможности к самовосстановлению. Часть такого подхода – устойчивое строительство, целью которого является «создание и ответственное поддержание здоровой искусственной среды обитания, основанной на эффективном использовании природных ресурсов и экологических принципах» [2, 11]. В России также принимаются меры, способствующие развитию устойчивого строительства, в частности в настоящий момент готовятся СП «Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства» и СП «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства», однако тема строительства деревянных зданий

этажностью более 3 этажей не в достаточной мере разработана отечественными исследователями. На сегодняшний день не существует общепринятой типологии конструктивных систем деревянных зданий выше 3 этажей, а типология, предложенная в разрабатываемых СП не охватывает имеющегося разнообразия конструктивных типов зданий, нормативно ограничивая возможности архитекторов-проектировщиков в применении деревянных конструкций.

Подходы к типологизации конструктивных систем

Согласно готовящимся к изданию СП «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства», конструктивные системы многоэтажных деревянных зданий делятся на

- здания балочной стеновой конструкции, где стены состоят из отдельных венцов (балок);
- здания каркасной стеновой конструкции, где стены состоят из отдельных элементов (стойки, ригели, стропила, обшивка);
- сборные здания из плоскостных элементов заводского изготовления в виде стеновых панелей, плит перекрытия и покрытия;
- здания из объемно-пространственных элементов заводского изготовления.

Эта типология раскрывает основные типы конструкций полностью деревянных зданий, но не характеризует здания с комбинированными (гибридными) конструктивными системами, т.е. состоящими преимущественно из двух и более материалов. В некоторых научных работах представлена другая типология многоэтажных деревянных зданий: в работе [1] несущие системы разделяются по структурному принципу, следуя которому авторы выделяют стеновой, каркасный, модульный, и стволовой конструктивный тип здания. Однако данная типология также не отражает специфику зданий с конструктивными системами, комбинированными как по материалу, так и по несущей структуре, так как возможны сочетания данных конструктивных типов: каркасно-стволовые, модульно-стволовые, модульно-каркасные и другие здания. Ввиду того, что здания с несущей системой, состоящей из двух и более материалов, имеют характерные особенности, отражающиеся на предъявляемых к ним требованиях проектирования, целесообразен учет таких особенностей при типологизации зданий с применением деревянных конструктивных элементов. Разрабатываемые СП «Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства» и СП «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования и строительства» ограничивают высотность многоэтажных деревянных зданий высотой 15 м для конструкций, не обработанных огнезащитой и 22,5 м для конструкций, обработанных огнезащитой и имеющих степень огнестойкости К0. Если обратиться к зарубежному опыту, в частности к опыту строительства 18-этажного общежития с деревобетонной конструктивной системой в г. Ванкувере (Канада), то можно отметить, что благодаря применению железобетонных конструкций в наиболее ответственных с точки зрения пожаробезопасности частях здания (лестничные клетки и лестницы, лифтовые холлы и т. п.) удалось получить разрешение на строительство, несмотря на то, что, согласно местным нормативам, конструкции деревянных зданий допустимы при строительстве объектов не выше 6 этажей. Применение бетонных и металлических элементов в несущих системах деревянных зданий привносит специфику в расчетные схемы и нормативное регулирование, и по этой причине должно отражаться в разрабатываемых нормативных актах. Использование гибридных конструктивных систем во многих случаях оправдано, так как позволяет применить достоинства различных материалов, уменьшая их расход и повышая экономическую эффективность строительства, а также расширяет

инструментарий и возможности проектировщика. Автор данной статьи предлагает типологию конструктивных многоэтажных деревянных зданий, учитывающую здания с гибридными несущими системами:

Типология конструкций многоэтажных деревянных зданий

Полностью деревянные	Комбинированные	
	Деревобетонные	Деревометаллические
МДКС (Массивное деревянное крупнопанельное строительство)	CREE system	Преднапряжённые деревянно-металлические конструкции
ФФТТ (до 12 этажей)	Каркас с бетонными соединениями	Деревянные конструкции со стальными узлами и раскосами
Стойечно-балочные системы	Каркас с Ж/Б ядром	Каркас со стальным конструктивным ядром
Каркасно-щитовые системы		ФФТТ (выше 12 этажей)
Объёмно-блочные здания	Объёмно-блочные здания с ж/б элементами	Объёмно-блочные здания с металлическими элементами

Данная типология реализуется на двух основаниях для типологизации. Первое основание характеризует материал несущей системы здания (полностью деревянное, деревометаллическое, деревобетонное). Второе основание описывает несущую систему как принцип пространственной организации материала в структуре здания (каркас, массивное деревянное крупнопанельное строительство и др.).

Важно отметить, что возможно строительство зданий с одновременным использованием деревянных, бетонных и металлических элементов. В таком случае предлагается типологизировать их в соответствии с объемом используемого материала, по принципу наибольшего применения: если несущее здание состоит из деревянных элементов на 60%, из бетонных – на 25% и из металлических – на 15%, предлагается относить его к деревобетонному зданию.

К достоинствам предложенной типологии относится характеристика несущих систем зданий с использованием деревянных конструкций по материалу, включение в типологию зданий с комбинированными конструкциями, что позволит в дальнейшем ввести нормативное регулирование проектирования и строительства таких зданий. Рассмотрим подробнее представленные в типологии конструктивные схемы.

Типы конструктивных систем многоэтажных деревянных зданий

Согласно предложенной типологии к полностью деревянным зданиям относятся массивные деревянные крупнопанельные дома, здания со стойечно-балочными, каркасно-щитовыми и объёмно-блочными системами, а также здания по системе ФФТТ, разработанные архитектором Майклом Грином.

Массивное деревянное крупнопанельное строительство является технологией, принципиально схожей с бетонным панельным домостроением, и активно развивается в таких странах, как Австрия, Канада, США, Англия, Италия, Германия и др. Данная технология наиболее часто используется при строительстве деревянных зданий высотой 5–10 этажей в связи с большой

скоростью возведения, связанной с высокой степенью готовности заводских элементов и легкостью монтажа. В качестве основного строительного материала, как правило, используются перекрестно-клееные панели (CLT) – материал, состоящий из нескольких слоев ламелей, уложенных перпендикулярно друг другу и склеенных между собой с помощью клеев, не содержащих формальдегидных смол (рис. 1). Такая компоновка ламелей в структуре панелей уменьшает возможные сдвиговые и упругие деформации и практически полностью исключает усадку, что и позволяет использовать их в многоэтажном строительстве. Помимо перекрестно-клееных панелей, в многоэтажном деревянном строительстве могут быть использованы панели на алюминиевых гвоздях или дюбелях (NLT¹ и МНМ², DLT³ панели), а также так называемая структурная композитная древесина. На строительство 1 м² здания в среднем уходит 0,4 м³ древесины. Скорость возведения каркаса для здания площадью 2890 м² и высотой 9 этажей составляет 27 рабочих дней [4].



Рис. 1. Перекрестно-клееная панель (CLT). Источник: <http://hybrid-build.co/solutions/ct/>

Деревянные здания со стоечно-балочными системами – это здания, в которых реализуется принцип несущего пространственного каркаса, формирующегося с помощью стоек и балок. Здания этой типологии имеют богатую предысторию, так как стоечно-балочная схема известна человечеству и применялась с античных времен. Большинство сохранившихся до наших дней крупных деревянных сооружений имеют в своей основе стоечно-балочную систему. Она характерна для европейских фахверковых зданий, скандинавских ставкирок, китайских и японских храмовых и дворцовых построек. Следует отметить, что для стоечно-балочных несущих систем деревянных зданий характерно большое многообразие, которое может служить предметом отдельного исследования, но в рамках данной статьи нас интересуют проекты и практическое применение стоечно-балочной системы в конструкциях современных многоэтажных деревянных зданий.

В России примером применения стоечно-балочных конструкций в многоэтажном деревянном строительстве может служить офис компании GoodWood (рис. 2). GoodWoodPlaza – самое большое офисное здание из деревянных конструкций в России. Его общая площадь – 3400 м², высота – 19,75 м [3]. Первый этаж здания с 6 уровнями выполнен из монолитного железобетона, оставшаяся часть выполнена из дерева и занимает площадь 2880 м² [3]. Срок строительства составил более 2 лет, что было связано с первым применением некоторых инновационных решений, и для подобных зданий может быть сокращен. Для каркаса стоечно-балочной системы расход древесины, как правило, составляет ок. 0,20–0,25 м³ на 1 м² площади здания. Исключительно деревянные стоечно-балочные системы редко применяются в современном многоэтажном деревянном строительстве, так как в большинстве стран не соответствуют строгим нормам, предъявляемым

¹ Nail laminated timber (NLT) – слоистая древесина на гвоздевых соединениях.

² Massiv Holz Mauer (МНМ) – частная разновидность панелей на гвоздевых соединениях немецкого производства, отличительной чертой которых является микрорельеф на ламелях, из которых собирается панель, что придает им лучшие теплоизоляционные свойства.

³ Dowel laminated timber (DLT) – слоистая древесина на дюбелях.



Рис.2. Офис Good Wood Plaza. Источник: <http://goodwoodplaza.ru/>

к многоэтажным зданиям. Чаще всего деревянная стоечно-балочная конструкция комбинируется с такими материалами, как металл или железобетон, что придает несущей системе большую конструктивную жесткость и в случае железобетона – огнестойкость.

Каркасно-щитовые системы имеют схожий со стоечно-балочными системами принцип организации конструктивных элементов в несущую систему. Особенностью является применение так называемых «щитов», или «каркасов» – укрупненных стеновых элементов, как правило, изготавливаемых на заводе (рис. 3).

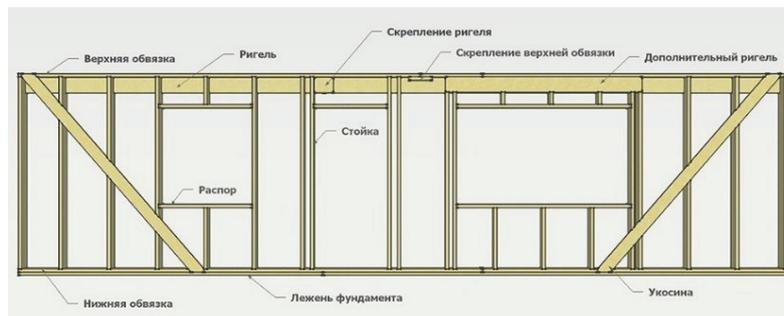


Рис.3. Укрупненный стеновой элемент каркасного здания.

Источник: <http://www.smart-framer.ru/index.php/resheniya/17-stena-karkasnogo-doma/29-pravilnaya-ustanovka-ukosiny-v-stenu-karkasnogo-dom>

Применение каркасно-щитовых систем ускоряет строительство, позволяет сократить расходы на строительной площадке, а также расходы на материалы. Каркасно-щитовые конструкции при использовании только дерева в качестве материала несущих систем имеют ограничения по максимально возможной высоте в силу конструктивных требований к несущей способности таких зданий и требований пожаробезопасности. В практике современного многоэтажного деревянного строительства в Европе каркасно-щитовая конструкция, как правило, комбинируется со стоечно-балочным каркасом, в котором используются элементы большого сечения (см. рис. 4,5), либо с железобетонными и металлическими конструкциями.

Объемно-блочные здания – здания, строящиеся из крупных строительных объемных элементов – блоков-комнат, как правило собираемых на заводе. Объемно-блочные деревянные здания строятся относительно редко, что связано преимущественно с логистическими проблемами и размерами строительных участков, на которых должно быть место для установки крана и временного хранения крупногабаритных объемных блоков. Как правило, здания по данной технологии строятся недалеко от завода-производителя. Сами объемные блоки могут быть изготовлены из массивных деревянных плит (здания TREET и Puukuokka) или каркасно-щитовых конструкций (офис компании EGGER), могут закрепляться друг на друга, или быть заполнени-



Рис. 4. Несущие элементы стоечно-балочной системы, и щитовая конструкция наружных стен здания Wolokura (г. Монрёй, Франция) арх. Graam architecture Источник: <https://graamarchitecture.fr/WOLOKURA>



Рис. 5. Стоечно-балочная конструкция с щитовыми элементами жилого здания Wolokura (г. Монрёй, Франция) арх. Graam architecture Источник: <https://graamarchitecture.fr/WOLOKURA>



Сверху слева – модульное здание Puukuokka (Финляндия)

Сверху справа – модульное здание Treet (Норвегия)

Снизу слева – модульное здание офиса компании Egger

Рис. 6. Примеры объемно-блочных (модульных) зданий. Составлено автором

ем в стоечно-балочной несущей конструкции (рис. 6). В несущих системах деревянных зданий с применением объемных модульных элементов могут быть использованы железобетонные или металлические конструкции.

Система FTTT (Finding the Forest Through the Trees) была впервые разработана Майклом Грином и опубликована в книге *The Case for Tall Wood Buildings* [10]. В работе приведены 4 разновидности системы FTTT, одна из которых – цельнодеревянная и предполагает использование CLT панелей в качестве стен несущего ядра и плит перекрытия, а также балок и колонн из клееной древесины. Данный конструктивный тип здания позволяет строить объекты высотой до 12 этажей. При комбинировании деревянных конструкций с металлическими, получаются остальные разновидности системы FTTT, которые позволяют повысить этажность до 20 и даже 30 этажей. Суть системы FTTT заключается в формировании несущего ядра здания и каркаса из балок и колонн, связанного с этим ядром жесткости. По балкам укладываются плиты CLT, формирующие перекрытия (рис. 7).

Использование данной схемы позволяет реализовать принцип свободной планировки, освободив план от несущих стен, помимо центрального ядра, которое, как правило, используется для устройства лестнично-лифтового узла и технических помещений. Другим достоинством данной системы является большая свобода при выполнении фасадных решений, так как наружная стена может не выполнять несущую функцию. Система FTTT была реализована в здании *Wood innovation and design centre* в Канаде. Расход древесины на несущий каркас здания составил 0,31 м³ на 1 м² общей площади. Перекрытие выполнено в два слоя из 5- и 3-слойных CLT панелей, располагаемых с нахлестом, но не полностью перекрывающих друг друга. Такой прием при конструировании перекрытия позволяет заложить технологические ниши для прокладки инженерных систем (рис. 8). Балки и колонны выполнены из LVL бруса. Семиэтажное здание площадью 4820.0 м² было построено в 2014 г. за 8 месяцев.



Рис. 7. Конструктивная схема FTTT. Выполнено автором на основе [10]



Рис. 8. Схема конструктивной системы CREE. Источник: <https://www.archdaily.com/630264/wood-innovation-design-centre-michael-green-architecture/5552153be58ece92c700026f-wood-innovation-design-centre-michael-green-architecture-detail>

Деревобетонные конструктивные системы

Вторым по распространенности конструктивным типом многоэтажных деревянных зданий является каркасное здание с железобетонным ядром. Устройство стоечно-балочного каркаса таких зданий может иметь свои особенности, но общим является применение центрального несущего ядра из железобетона, который, как правило, выполняет функцию лестнично-

лифтового узла и придает каркасу большую конструктивную жесткость и устойчивость ветровым нагрузкам, что позволяет повысить этажность таких зданий. Примером здания такого типа служит общежитие Brock Commons в Ванкувере (рис. 9). Высота 18-этажного жилого блока, построенного в 2016 г., составляет 53 м. В качестве несущих элементов используются железобетонные стены двух лестнично-лифтовых узлов и система колонн из клееной древесины с плитами перекрытия из CLT. Колонны и перекрытия, так же как и стенки, разделяющие жилые блоки, рассчитаны на два часа прямого воздействия огня, а стены между коридором и жилыми ячейками – на часовую огнестойкость. На возведение деревянного каркаса ушло 9,5 недель. На здание площадью 10 000 м² потребовалось 2233 м³ материалов на основе древесины. Колонны соединяются между собой с помощью металлических коннекторов, которые одновременно связывают перекрытия с колоннами. С разработкой этого проекта было связано параллельное составление специальных технических условий, так как в действующем «Строительном кодексе Британской Колумбии 2012 года» существовал запрет на строительство зданий из дерева высотой более 6 этажей и площадью застройки свыше 1200 м² [9]. Помимо конструктивной жесткости, использование железобетонных конструкций позволяет обеспечить необходимые требования огнестойкости в наиболее ответственных местах здания (лестнично-лифтовые узлы, пути эвакуации, зоны безопасности и т.п.), характерные для нормативов проектирования многоэтажных зданий во многих странах. Здания схожей конструкции проектируются и строятся в Австрии (Офисно-жилое здание NoHo Vienna, в г. Вена – арх. SY architecture, 2019), Франции (Жилой блок MARCEAU в г. Монтрей – арх. Graam architecture, 2013) и других странах.



Рис. 9. Строительство здания Brock Commons в Ванкувере, Канада. Источник: <https://www.reminetwork.com/articles/construction-milestone-for-ubc-brock-commons/>

Другой распространенной и запатентованной технологией строительства деревобетонных зданий является CREE System. Это австрийская технология, подразумевающая использование плит перекрытия ребристой конструкции, в которых ребра выполняются из деревянных клееных балок, на которых уложена железобетонная полка плиты (ее верхняя часть). Деревянные балки воспринимают изгибающие усилия и позволяют сократить толщину бетонной части. Бетонная полка придает жесткость плите и способствует большей звукоизоляции, чем полностью деревянное перекрытие. Пространство между балками, расположенными в структуре плиты, может использоваться для проведения инженерных систем, в частности: систем противопожарной защиты, отопления, кондиционирования, спринкерной системы, коробов вентиляции

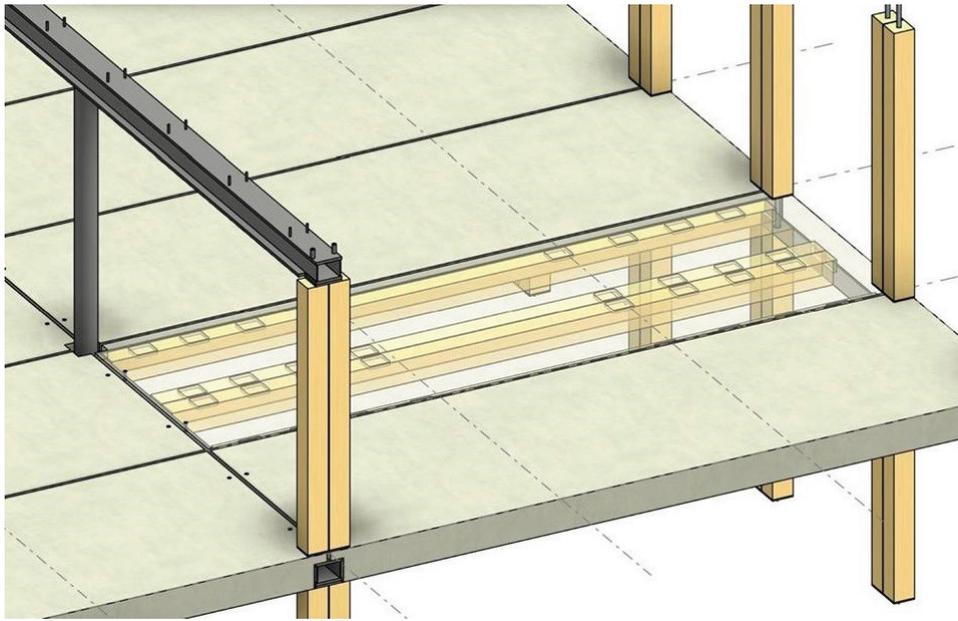


Рис. 10. Схема несущих элементов в CREE system. Источник: <https://www.facebook.com/pg/creebyrhombberg/photos/>

или для осветительного оборудования и электросетей (рис. 10). К данным инженерным системам легко организуется доступ через лючки в потолке нижележащего этажа, что упрощает их обслуживание и ремонт. Плиты имеют технологические отверстия для металлических коннекторов, установленных на колоннах из клееной древесины. Максимальный безопорный пролёт для таких плит перекрытия составляет 10 м. Фасад собирается из крупноразмерных щитовых каркасных элементов с утеплителем внутри. Так как строительство здания представляет собой крупноэлементную сборку из предварительно изготовленных на заводе деталей, количество процессов на стройплощадке сводится к минимуму, а скорость строительства повышается: на возведение несущей системы и фасада 8-этажного здания LCT One площадью 1700 м² ушло всего 8 дней (за исключением построенного заранее железобетонного лестнично-лифтового узла). Хотя стоимость данной конструктивной системы и инженерных систем здания на 5–10% выше, чем у аналогичного железобетонного здания, эта разница нивелируется за счет сокращения сроков строительства, незначительного уменьшения стоимости фундамента, и меньших эксплуатационных расходов. К основным преимуществам CREE system помимо меньшего веса конструкции, удобства обслуживания и высокой скорости строительства относится изначально высокое качество интерьеров (деревянные поверхности практически не требуют дополнительной отделки) и уменьшение выбросов CO₂ (0,15 кг/м² для CREE system против 0,75 кг/м² для здания из железобетона). В настоящий момент по этой технологии выполнено 4 проекта. 2 здания построено в Австрии [8].

Кроме рассмотренных деревобетонных систем выделяют здания с железобетонными коннекторами и элементами. В проекте 42-этажного небоскреба, предложенного проектным бюро SOM, предлагается использовать железобетон для устройства обвязки стен из массивных деревянных панелей. Использование железобетона позволяет сократить объемы используемой древесины в наиболее нагруженных участках конструкции, что позволяет сэкономить при строительстве. В исследовании бюро было отмечено, что материалы на основе древесины не подходят для восприятия критических нагрузок в узловых элементах, возникающих при строительстве зданий высотой более 15 этажей [12]. Поэтому при проектировании и строительстве подобных зданий рекомендовано использовать комбинированные, а не полностью деревянные конструктивные схемы. Также была отмечена необходимость учёта различных модулей упру-

гости для дерева и бетона, в связи с чем при строительстве зданий более 20 этажей возникает необходимость разрабатывать соединения, позволяющие компенсировать разницу в усадке вертикальных элементов. При строительстве зданий меньшей высоты разница в усадке является незначительной и не требует особых мероприятий для ее компенсации.

Использование железобетона совместно с полом из массивных деревянных панелей позволило увеличить перекрываемый пролет с 7,2 м при 20 см толщины перекрытия для железобетона до 8,6 м без изменения толщины перекрытия [12].

Дерево-металлические конструктивные системы

К деревометаллическим несущим системам относятся здания, в которых металл используется не только для крепежа и соединения деревянных конструктивных элементов, но и непосредственно в качестве составляющей части несущей системы. К деревометаллическим зданиям относятся:

- преднапряженные деревянно-металлические конструкции,
- деревянные конструкции со стальными узлами и раскосами,
- здания по технологии FFTT (выше 12 этажей),
- каркасные здания со стальным конструктивным ядром.

Применение преднапряжённых деревянно-металлических конструкций актуально для зданий, расположенных в сейсмоопасных зонах, где они служат демпфером⁴ при сейсмических воздействиях. Предварительно натянутая арматура использовалась в трехэтажном офисном здании Young Hunter House, которое было построено по проекту Sheppard & Rout в г. Крайсчёрч в 2013 г. (рис.11).



Рис. 11. Young Hunter House, г. Крайсчёрч, Новая Зеландия, 2013. Источник: <http://www.ptlnz.com/projects/young-hunter-house/>

Использование преднапряженных металлических конструкций в многоэтажных зданиях из дерева в настоящее время не распространено и является актуальным направлением для дальнейших научных исследований.

Стальные узлы и раскосы, в отличие от преднапряженных металлических конструкций, довольно часто используются в деревометаллических зданиях. Это связано с такими достоинствами металла, как более высокая прочность, изотропность. Металл часто используют в элементах конструкций, работающих на растяжение и сдвиг, в которых металл обладает большей несущей способностью чем древесина, что позволяет сократить общий объем используемого

⁴ Демпфер – устройство для уменьшения (см. демпфирование) или устранения вредных колебаний в механической или электрической системе путем рассеяния и поглощения энергии [5].

материала. Примером здания с металлическими коннекторами служит жилой комплекс E3 в Берлине (рис. 12).

Металлические соединения служили для крепления колонн из клееного бруса и ригелей между собой. На ригели впоследствии были уложены CLT плиты. Объем используемой древесины составил 380 м³ (около 0,4 м³ на 1 м² общей площади). Общий срок строительства (включая срок на устройство фундамента, возведение каркаса, устройство фасада и проведение инженерных коммуникаций) – 11 месяцев.



Рис. 12. Жилой комплекс E3 в Берлине. Источник: <http://norvex.pro/company/blog/stroitelstvo-zhilykh-mnogoetazhnykh-domov-iz-drevesiny-proekt-e3-berlin-germaniya-7-etazhnyy-dom-vys/>



Рис. 13. Проект Roosevelt campus (бюро MGA). 2011. Источник: <http://mg-architecture.ca/work/tall-wood/>

Конструктивная система FFTT, описываемая ранее, при высотности зданий более 12 этажей подразумевает использование металлических конструкций в качестве обвязочных балок на каждом этаже, что практически исключает усадочные деформации и повышает жесткость несущего каркаса. На сегодняшний день не существует построенных зданий металлодеревянной разновидности конструктивной системы FFTT, однако она тщательно разработана и описана в [10] и представлена в некоторых проектах бюро MGA (рис. 13)

Одним из вариантов использования металлоконструкций в деревянном здании служит организация стального конструктивного ядра. Примером деревянного каркасного здания с ядром жесткости из стальных рам служит Bullitt Center, построенный в Сиэтле в 2012 г. (рис. 14). Металл также используется в узловых соединениях колонн и балок, состоящих из клееной древесины. Плиты перекрытия, кроме перекрытий первого и второго этажа, выполнены из CLT. В проекте Bullitt Center был применен ряд технологических и инженерных нововведений, позволяющих свести на нет отрицательное влияние здания в процессе его строительства и эксплуатации на окружающую среду и в долгосрочной перспективе получать пользу от их применения. В здании используются многочисленные системы автоматизации, геотермальные скважины для отопления здания зимой и охлаждения летом, системы очистки дождевой воды для ее использования в системе водоснабжения, безводные туалеты с системой компостирования твердых отходов в

удобрения, вентиляторы для рекуперации тепла в системе вентиляции здания, а также системы «умного» фасада, обеспечивающего терморегуляцию и комфортное освещение [6].

Стоимость строительства Bullitt Center была на 30% выше стоимости строительства стандартного железобетонного офисного здания аналогичной площади [7], но часть этих издержек связана с согласованием инновационных решений и разработок, под которые не существовало соответствующих нормативных документов. В дальнейшем, с совершенствованием нормативной системы, с активным внедрением подобных технических разработок такие расходы могут быть существенно сокращены. Объем использованной древесины составил 695 м³ при площади 4800 м² (однако первые 2 этажа шестиэтажного здания были выполнены из бетона, расход древесины для деревянной части здания – ок. 0,25 м³ на 1 м² общей площади). Общий срок строительства составил 1 год и 7 месяцев.

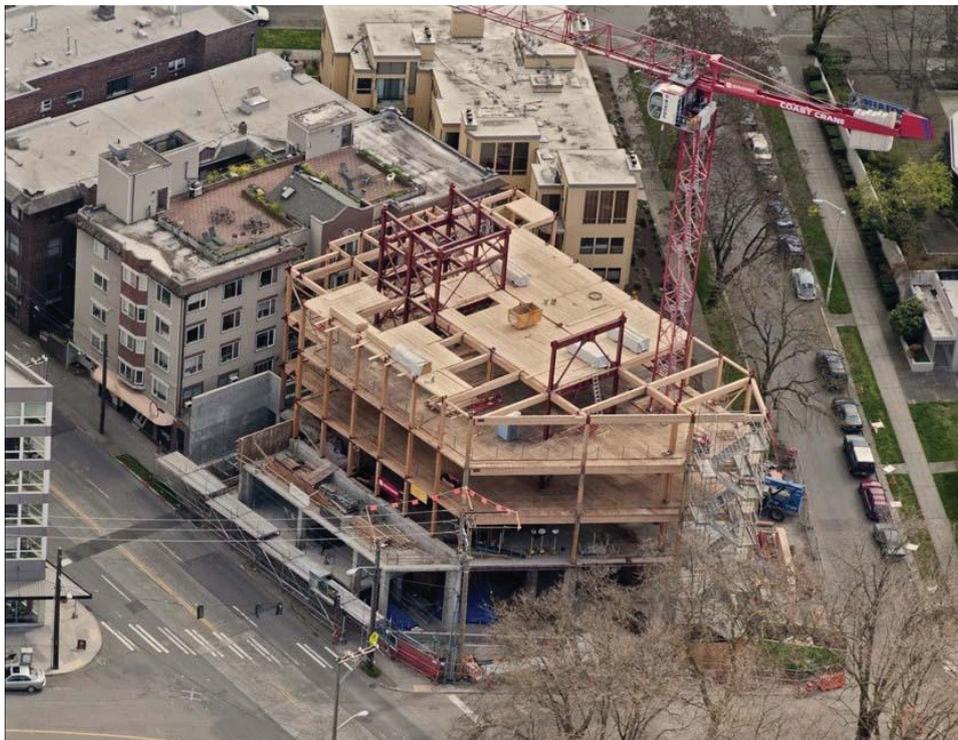


Рис. 14. Bullitt Center, Сиэтл, США, 2012. Источник: <http://pcad.lib.washington.edu/image/1710/>

Вывод

Анализируя европейский опыт строительства, можно обнаружить, что наиболее распространёнными типами конструктивных систем из дерева в жилом строительстве являются крупнопанельные несущие системы. Это связано с высокой степенью готовности заводских элементов, скоростью строительства, необходимостью разделения этажа на жилые блоки квартир, для чего хорошо подходит конструкция здания на поперечных и продольных несущих стенах. Для офисных зданий наиболее целесообразно применение каркасных и каркасно-щитовых систем и их разновидностей, обеспечивающих реализацию принципа свободной планировки.

Использование деревянных конструкций в зданиях выше 15 этажей требует применения комбинированных конструктивных систем (деревометаллических, или деревобетонных), так как величина усадки в таких зданиях становится слишком велика для полностью деревянных конструктивных систем. С помощью применения комбинированных конструктивных систем может быть расширен инструментарий проектировщика, а нормирование таких зданий с точки зрения пожаробезопасности и методов расчета требует отдельной проработки.

Типология конструктивных систем, предложенная в статье, не претендует на всеобъемлемость и может быть дополнена в ходе следующих исследований дерево-металло-бетонными зданиями, зданиями с использованием пластика и структурных композитов, которые в настоящее время не распространены в архитектурной практике, но являются развивающимися технологиями, и в ближайшее время могут получить достаточно широкое применение. Для некоторых типов зданий, предложенных в типологии, можно выделить подтипы: так, объемно-блочные здания могут быть разделены на здания с блоками из массивных деревянных панелей и на здания с блоками из стеновых каркасов; может быть детализирована типология стоечно-балочных и каркасно-щитовых конструкций. Все перечисленные типы конструктивных систем многоэтажных деревянных зданий могут быть предметом дальнейших исследований.

Библиография

1. Беличенко, М.Ю., Ахметова, Л.Р., Дроздов, В.А. Строительство многоэтажных зданий на основе древесины / М.Ю. Беличенко, Л.Р. Ахметова, В.А. Дроздов // Проблемы современной науки и инновации. – 2016. – №12. – С. 31–38.
2. Князева, В.П. Экология. Основы реставрации / В.П. Князева. – М., 2005
3. Особенности и инновации [Электронный ресурс] //goodwoodplaza.ru – URL: <http://goodwoodplaza.ru/osobennosti-i-innovacii/>
4. Ровнова, Е. Жить в дереве [Электронный ресурс] //ARCHI.RU: – 2014. – URL: <http://archi.ru/world/56992/zhit-v-dereve>
5. Рязанцев, В.Д. Большая политехническая энциклопедия / В.Д. Рязанцев. – М.: Мир и образование. 2011.
6. Building Features [Электронный ресурс] – URL: <http://www.bullittcenter.org/building/building-features>
7. Bullitt Center financial case study [Электронный ресурс] – URL: <http://www.bullittcenter.org/2015/04/02/bullitt-center-financial-case-study/>
8. Cree by Rhomberg [Электронный ресурс] //www.creebyrhomberg.com – URL: <https://www.creebyrhomberg.com/en/>
9. Erik, A. Poirier, Thomas Tannert [и др.]. Brock commons phase 1: overview // Design and preconstruction of a tall wood building. – British columbia, Canada. – 2016: The university of british columbia, 2016. – 24 с.
10. Green Michael C. The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmental Friendly Alternative for Tall Building Structures. – mgb Architecture + Design, 2012.
11. Kibert, C. Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction. In Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction, Tampa, University of Florida, 6–9 November, 1994.
12. Timber tower research project. Final report. Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013.

Статья поступила в редакцию 16.01.2019

Лицензия Creative Commons

Это произведение доступно по лицензии Creative Commons «Attribution-ShareAlike» («Атрибуция – На тех же условиях»)

4.0 Всемирная.



APPROACHES TO THE TYPOLOGIZATION OF STRUCTURAL ENGINEERING SYSTEMS IN MULTISTORIED WOODEN BUILDINGS

Afonin, Vitaly S.,

Doctoral student

Research supervisor: Z.K.Petrova, Doctor habil. (Architecture)

Central Research and Design Institute under the Russian Ministry of Construction,
Moscow, Russia, e-mail: vitalyaafonin@gmail.com

Abstract

The article considers structural systems used in multistoried wooden buildings and approaches to their typologization. The advantages and disadvantages of various structural systems are highlighted, and their applications depending on the functional type of the building are defined. Two approaches to the typologization of structural systems employed in multistoried wooden buildings are identified. Typologization by structure is an approach which uses the structural implementation of a building's bearing system as a basis for defining the type. According to this approach, there are wall, frame, modular and core structural systems. Typologization by material is an approach in which the type is defined by the principle of material use. The structural types identifiable in it are fully wooden bearing systems and combined bearing systems including wood-and-metal and wood-and-concrete combinations.

Key words:

wooden multistoried buildings, structural engineering systems, wooden structures, mass timber panel construction, sustainable building construction

References:

1. Belichenko, M.Yu, Akhmetova, L.R., Drozdov, V.A. (2016) Construction of Multistoried Buildings on the Basis of Wood. Issues in Modern Science and Innovations, No.12, p. 31–38. (in Russian)
2. Knyazeva, V.P. (2005) Ecology. Restoration Basics. Moscow (in Russian)
3. Highlights and Innovations. goodwoodplaza.ru/osobennosti-i-innovacii/ (in Russian)
4. Rovnova, E. (2014) Living in a Village.[Online].ARCHI.RU. Available from: <http://archi.ru/world/56992/zhit-v-dereve> (in Russian)
5. Ryazantsev, V.D. (2011) Big Polytechnic Encyclopedia.Moscow:World and Education (in Russian)
6. Building Features.[Online].Available from:<http://www.bullittcenter.org/building/buildingfeatures>
7. Bullitt Center financial case study.[Online].Available from: <http://www.bullittcenter.org/2015/04/02/bullitt-center-financial-case-study/>
8. Cree by Rhomberg.[Online]. www.creebyrhomberg.com.Available from: [https:// www.creebyrhomberg.com/en/](https://www.creebyrhomberg.com/en/)
9. Erik, A. Poirier, Thomas Tannert et al. (2016)Brock commons phase 1: overview. Design and Preconstruction of a Tall Wood Building. British Columbia, Canada. The University of British Columbia.

10. Green Michael C. (2012) The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmental Friendly Alternative for Tall Building Structures. mgb Architecture + Design.
11. Kibert, C. (1994) Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction. In: Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction. Tampa: University of Florida, 6–9 November.
12. Timber tower research project. Final report. Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013