

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В.И. ЗАПРУДНОВ (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищинский филиал),
Н.Г. СЕРЕГИН, Н.И. ПОТЕХИН (НИУ МГСУ)

Проектирование и строительство уникальных зданий и сооружений из древесины до недавнего времени воплощалось в основном в проектах малоэтажных зданий. Современные технологии раскрыли преимущества древесины перед железобетоном и металлом, что натолкнуло на мысль об использовании этого материала в качестве основного в строительстве уникальных зданий и сооружений. К основным преимуществам деревянных конструкций перед железобетонными и металлическими отнесены следующие:

- малая плотность материала, следовательно, и меньший вес конструкций, что позволяет снизить затраты на устройство фундамента;
- относительная дешевизна строительства;
- высокая несущая способность конструкций;
- возможность замены отдельных конструктивных элементов без больших финансовых и трудовых затрат;
- высокая огнестойкость конструкций.

Благодаря специальным антисептическим и пожаростойким пропиткам, конструкции из древесины при возникновении пожара способны 2,5...3 часа сохранять прочность вплоть до обрушения.

Цель работы — оценка перспектив строительства деревянных уникальных конструкций на примерах как реализованных, так и нереализованных архитектурных работ.

Конструктивные решения уникальных зданий и сооружений из древесины

Рассмотрим самые яркие проекты применения древесины в зодчестве, и прежде всего предложение выдающегося русского инженера и изобре-

Характеристика уникальных зданий и сооружений

Характеристика	Значение
Высота, м	>100
Заглубление подземной части, м	>15
Строительный объем, тыс. кв. м	>100
Одновременное пребывание посетителей, чел.	>500
Величина пролета, м	>100
Наличие консоли, м	>20

тателя И.П. Кулибина (1735–1818 гг.) по созданию безопорного моста через р. Неву [6–10]. Предпосылкой для этого технического предложения стал единственный Исаакиевский наплавной (плашкоутный) мост, который в периоды ледохода и ледостава разводился на несколько недель, из-за чего жители были вынуждены переходить реку по льду или на лодках, что представляло большую опасность.

И.П. Кулибин решил создать одноарочный деревянный мост пролетом около 300 м. Технология строительства деревянных арочных мостов была хорошо известна русским мостостроителям, однако подобных масштабных проектов в практике мирового мостостроения не было. Проект Кулибина включал в себя три варианта моста, и какому из них отдать предпочтение он сразу решить не мог. Со временем был выбран окончательный вариант, в котором основ-

ными несущими конструкциями сооружения были спаренные деревянные арки с ромбической решеткой по обеим сторонам проезжей части шириной 8,52 м (рис. 1).

Проект одноарочного моста Кулибина был холодно принят Императорской академией наук в Санкт-Петербурге, как и всем научным сообществом. Тем не менее, И.П. Кулибин принял решение провести показательные экспериментальные исследования макета сооружения масштабom 1:10. Это макет имел длину 30 м и массу 5,4 т. Вначале на него поместили груз массой 54 т, с которым макет моста успешно справился. Тогда ученый увеличил нагрузку до 63,5 т, с чем конструкция также успешно справилась, простояв 28 суток.

Отметим, что именно И.П. Кулибин впервые теоретически обосновал применение теории подобия, установив, что макеты, отличающиеся в не-

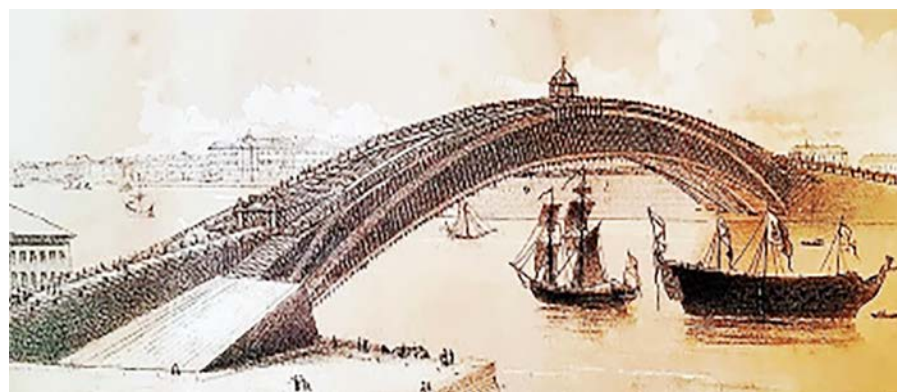


Рис. 1. Проект деревянного одноарочного моста И.П. Кулибина через р. Неву пролетом около 300 м



сколько раз от натуральной величины, имеют кратно отличающиеся напряжения. Для обеспечения полного подобия необходимо было также кратно уменьшить воздействие на макет.

Современное деревянное строительство шагнуло далеко вперед от своих предшественников. Датская компания C.F. Møller Architects в 2013 г. представила миру проект высотки Big Wood для возведения в Стокгольме, что подтверждает высказанное мнение Кулибина о подобию конструкций (рис. 2). Big Wood станет первым в мире деревянным небоскребом высотой в 34 этажа. Свой выбор в пользу древесины авторы проекта объяснили тем, что это традиционный для Швеции материал. Строительство высотки Big Wood планируется начать в 2023 г.

Проект предполагает лишь наличие фундамента и центрального ядра из железобетона. Остальные конструкции будут выполнены полностью из древесины, изготовленной заводским способом по соответствующим технологиям, а это обеспечит надежность. Вопрос с пожаростойкостью древесины авторы проекта планируют решить путем пропитки древесины специальными составами, устойчивыми к воздействию огня [11–13]. Основой несущего каркаса здания станут клееные деревянные конструкции.

Интересной особенностью данного проекта является его планировка. С 3-го по 20-й этаж будет размещено по четыре квартиры. На этажах, расположенных выше, площадь квартир будет постепенно уменьшаться, а освободившееся место использоваться для открытых озелененных террас. Кроме них каждая квартира в доме получит полностью остекленную лоджию. Вопрос с энергоснабжением здания авторы проекта решили путем размещения на кровле солнечных панелей.

Японские архитекторы из компании Nikken Sekkei отличились еще больше, представив миру проект 70-этажного небоскреба, который будет возведен исключительно с применением древесины (рис. 3) в Токио. Высота небоскреба составит 350 м,



Рис. 2. Проект деревянной высотки Big Wood в Стокгольме высотой в 34 этажа



Рис. 3. Проект деревянного небоскреба в центре г. Токио высотой 350 м

он будет вмещать жилые помещения, магазины, офисы и гостиницу.

По оценке архитекторов, на возведение здания затратят 200 тыс. м³ древесины, что будет способствовать снижению выбросов диоксида углерода в атмосферу примерно на 2800 т. в год, что, несомненно, повысит экологичность городской среды Токио. Именно на это рассчитывают

создатели проекта такого небоскреба из древесины [14–19].

Планируется большое остекление как внутри здания, так и на фасадах, что позволит «залить» внутреннее пространство естественным светом. Пожаростойкость небоскреба будет обеспечена пропиткой древесины специальными огнестойкими составами при производстве конструкций.

Реализованные проекты уникальных зданий и сооружений из древесины

Для изучения конструкций, используемых в строительстве масштабных сооружений из древесины, рассмотрим несколько реализованных проектов.

Современной истории строительства известно немало количество внедренных масштабных проектов с использованием деревянных конструкций. Одним из них является студенческое общежитие Brock Commons в Канаде (рис. 4). Данный проект имеет несколько особенностей. Это не элитная жилая и коммерческая недвижимость, а проект университетского общежития, перед авторами которого была поставлена задача снижения затрат на строительство. Поэтому было принято решение разработать проект с гибридной конструкцией: нулевой цикл и цокольный этаж – железобетонные; межэтажные перекрытия 17 этажей – деревянный клееный брус и CLT-панели; конструкции крыши и кровли – металлические. Основной каркас общежития формируют деревянные колонны из клееного бруса с предусмотренными узлами быстрого соединения. Перекрытия выполняются из CLT-панелей (пятислойной перекрестно-клееной древесины) с габаритами 2,85x4,0 м. Такая конструкция позволяет надежно выдерживать и распределять нагрузку от расположенных выше этажей и передавать ее на железобетонные конструкции нулевого цикла. Стены здания формируются из готовых монтажных элементов – фасадных панелей с установленными на заводе изготовителе окнами. Панель представляет собой деревянную конструкцию габаритами 8x2,81 м с заполнением стекловолоконными плитами и обшивкой из древесно-волоконистых плит высокого давления.

Рассмотрим подробнее технологию CLT. Это деревянная панель, изготовленная из расположенных перпендикулярно друг к другу и склеенных между собой слоев сплошного пиломатериала [20–25]. Эта технология открыла для древесины большие возможности в области уникального строительства, поскольку такие пане-

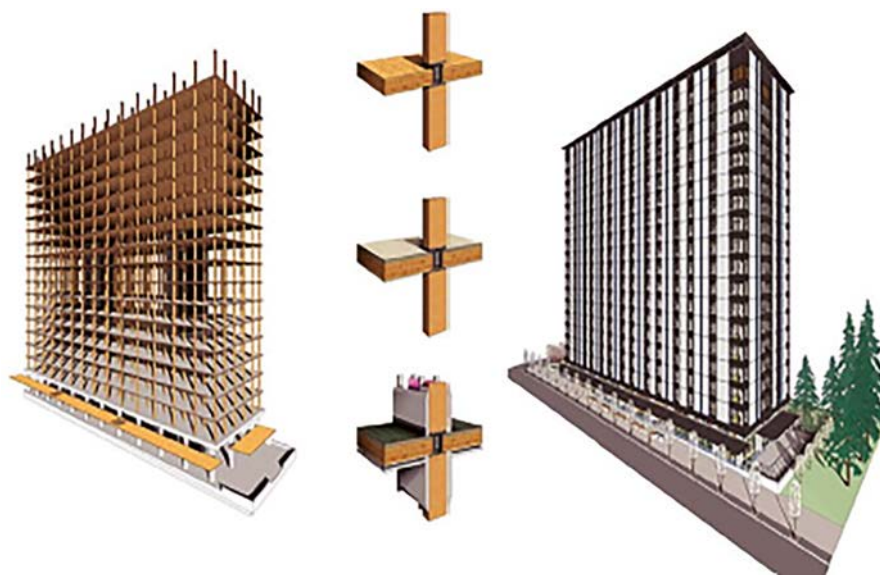
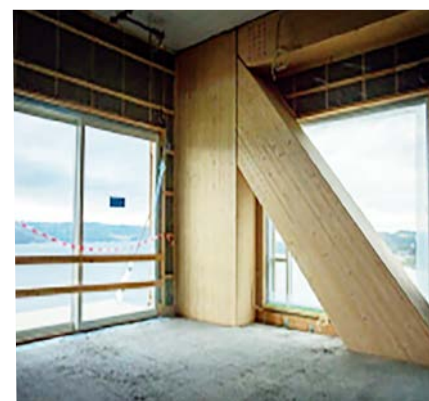


Рис. 4. Конструкция деревянного общежития Brock Commons в Канаде высотой в 17 этажей: а — каркас здания; б — конструктивные узлы; в — общий вид общежития



Рис. 5. Конструкция деревянной башни «Мьес» в Норвегии высотой 85,4 м



ли имеют высокую несущую способность и устойчивы к сейсмическим нагрузкам [26–29].

Перед непосредственным возведением здания общежития для отработки монтажа и проверки элементов

конструкции был построен двухэтажный полномасштабный макет с установкой нескольких фасадных панелей, исследование которого подтвердило правильность выполнения проектных работ.



Здание из дерева приносит существенную пользу для окружающей среды, снижая выбросы диоксида углерода в атмосферу на 500 т в год благодаря использованию древесины вместо железобетона и металла.

В целом, данный проект служит наглядным доказательством успешного применения древесины в подобных проектах.

Самым высоким на планете деревянным зданием является башня «Мьес» высотой 85,4 м (18 этажей), построенная за 11 месяцев, жилой площадью 11 300 кв. м, которая расположена в норвежском г. Брумунддале на берегу оз. Мьес, в 100 км к северу от г. Осло (рис. 5). Это местный центр лесной и деревообрабатывающей промышленности. На площади 11 300 кв. м находятся жилые помещения и иные общественные пространства. Здание имеет каркасно-ствольную конструктивную систему и центральное ядро. Конструкция стен представляет собой каркас, обшитый древесиной, с утеплителем внутри. В конструкции перекрытий также использовался бетон. До 12-го этажа перекрытие покрывались ламинированным шпоном и 50 мм бетона для обеспечения лучшей акустики и снижения вибраций [30–34]. С 12-го по 18-й этаж использовались исключительно бетонные плиты, что обеспечило поддержание необходимой высоты, а также устойчивость к ветровым нагрузкам.

Рассмотренные примеры уникальных зданий и сооружений из древесины показывают, что древесина, наряду с такими строительными материалами, как камень, железобетон и металл, имеет значительные перспективы в строительной отрасли.

Выводы

Высоким на планете деревянным зданием является башня «Мьес» высотой 85,4 м (18 этажей), построенная за 11 месяцев, жилой площадью 11 300 кв. м, которая расположена в норвежском г. Брумунддале на берегу оз. Мьес, в 100 км к северу от г. Осло (рис. 5). Это местный центр лесной и деревообрабатыва-

ющей промышленности. На площади 11 300 кв. м находятся жилые помещения и иные общественные пространства. Здание имеет каркасно-ствольную конструктивную систему и центральное ядро. Конструкция стен представляет собой каркас, обшитый древесиной, с утеплителем внутри. В конструкции перекрытий также использовался бетон. До 12-го этажа перекрытие покрывались ламинированным шпоном и 50 мм бетона для обеспечения лучшей акустики и снижения вибраций [30–34]. С 12-го по 18-й этаж использовались исключительно бетонные плиты, что обеспечило поддержание необходимой высоты, а также устойчивость к ветровым нагрузкам.

Рассмотренные примеры уникальных зданий и сооружений из древесины показывают, что древесина, наряду с такими строительными материалами, как камень, железобетон и металл, имеет значительные перспективы в строительной отрасли.

1. Анализ проектов масштабных зданий и сооружений с применением деревянных конструкций, изготовленных по новым технологиям, показал их значительную перспективу в настоящем и будущем.

2. В проекте моста Кулибина деревянные конструкции в уменьшенной его модели продемонстрировали возможность их практического применения, а также послужили основанием для создания теории подобия.

3. Канадское общежитие Brock Commons, являющееся относительно новым сооружением, положило начало революции в использовании древесины в качестве основного материала в строительстве масштабных зданий и сооружений. Оно стало уникальным в своем роде объектом на время его возведения, и уже тогда многие инженеры стали задумываться о применении древесины в своих проектах.

4. Следующим в ступени так называемого «возрождения» деревянных конструкций стала

башня «Мьес», которая и по сей день является самым высоким деревянным сооружением в мире, его высота составляет 85,4 м.

5. Мировое строительное сообщество не планирует останавливаться на достигнутом, доказательством чего служит проект шведской компании C.F. Maller architects под названием Big Wood, который станет первым небоскребом, построенным из дерева. Японские архитекторы из компании Nikken Sekkei превзошли остальные страны и представили свой проект 70-этажного небоскреба, высотой 350 м, который будет выполнен из деревянных конструкций.

6. Следовательно, можно утверждать высокую перспективность применения деревянных конструкций при строительстве. Развитие современных технологий обработки древесины и изготовления из нее конструкций способствует снижению их недостатков и расширению преимуществ по сравнению с железобетоном и металлом.

Литература:

1. Ашихина А.А., Исакова В.В., Никитина А.В. Защитная обработка деревянных конструкций // Глобальные вызовы развития естественных и технических наук. Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Белгород, 29 ноября 2018 г. Белгород: Изд-во ООО «Агентство перспективных научных исследований», 2018. С. 132-135.
2. Рябова В.И., Дериглазова Н.О., Чернышев А.А. Огнестойкость деревянных конструкций // Вестник КемРИПК, 2018. № 5. С. 61-66.
3. Бабухин Д.А., Башкатов А.В., Пономарева Т.В. К вопросу применения композитных материалов на основе древесины // Образование. Наука. Производство: Материалы X Междунар. молодежного форума. Белгород, 01–15 октября 2018 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С. 669-672.
4. Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Методика расчета производства клееного оконного бруса для строительных конструкций // Вестник МГСУ, 2016. Т. 12. Вып. 2 (101). С. 157-164.
5. Разиньков Е.М. Прочность склеивания пиломатериалов в технологии клееного бруса для жилых домов // Лесотехнический журнал, 2016. № 3. С. 127-134.
6. Попова З.В. CLT-панели: возможности и перспективы // Инвестиции, гра-



достоительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск, 01–04 марта 2022 г. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2022. С. 374-380.

7. Требакс Е.А. Использование уникальных свойств клееных деревянных панелей CLT в строительстве общественных зданий // *Инновации в науке*, 2017, № 10 (71). С. 68-69.

8. Забегина А.Р. Особенности типологии современных зданий с использованием CLT панелей // *Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института*, 2021, № 1. С. 37-43.

9. Ключенко М.О. LVL-брус – конструкционный материал нового поколения // *Современные тенденции в науке, технике, образовании: сб. науч. тр. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конференции*. Смоленск, 30 декабря 2018 года. Смоленск: б.и., 2018. С. 7-9.

10. Коновалов М.А. Использование деревянных конструкций в качестве альтернативной замены железобетонным конструкциям в многоэтажном здании // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2022. Т. 7. № 6. С. 17-24. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24>

11. Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations // *J. E3S Web of Conferences*, 2020, no. 157, p. 06006.

12. Seregin N.G. Feasibility for the implementation of cement piles // *J. OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, no. 953, p. 012093.

13. Unaibayev B.Z., V. Andreyachshenko, Unaibayev B.B. Cast-in-situ piles encasements based on oil-bituminous rocks (kirs) in saline soils // *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 2021, t. 30, no. 1, pp. 51-61.

14. Jin X., Wang T.-H., Cheng W.-C., Luo Y., Zhou A. A simple method for settlement evaluation of loess–pile foundation // *Canadian Geotechnical J.*, 2019, t. 56, no. 11, pp. 1690-1699.

15. Seregin N. Parametric Model of Cement Soil. In: *Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 180. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8-43>.

16. Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // *Soils and Foundations*, 2015, no. 55, pp. 1069-1085.

17. Kumor U.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment // *Transportation Research Procedia*, 2016, no. 14, pp. 787-796.

18. Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues // *J. of Comparative Economics*, 2018, no. 46, pp. 616-633.

19. Hong Z. Executive labor market segmentation: How local market density affects incentives and performance // *J. of Corporate Finance*, 2018, v. 50, pp. 1-21.

20. Garmanov G., Urazaeva N. Design and Calculation of Cost Effectiveness of Various Types of Foundations in Central Russia // *Procedia Engineering*, 2015, v. 117, pp. 465-475.

21. Baril G.L., Wright J.C. Different types of moral cognition: Moral stages versus moral foundations // *Personality and Individual Differences*, 2012, v. 53, iss. 4, pp. 468-473.

22. Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile — raft foundation in silty clay // *Underground Space*, 2019, no. 6 (3), pp. 1-9.

23. Li J., Wang X., Guo Y., Yu X. Vertical bearing capacity of the pile foundation with restriction plate via centrifuge modelling // *Ocean Engineering*, 2019, v. 181, pp. 109-120.

24. Santos R., Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil // *J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2018, v. 10, iss. 5, pp. 986-991.

25. Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil // *Cold Regions Science and Technology*, 2019, v. 157, pp. 42-52.

26. Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // *Soils and Foundations*, 2015, v. 55, iss. 5, pp. 1069-1085.

27. Kumor U.A., Kumor M.K. Changes in Mechanical Parameters of Soil, Considering the Effect of Additional Compaction of

Embankment // *Transportation Research Procedia*, 2016, v. 14, pp. 787-796.

28. Zhao R., Hui R., Liu L., Xie M., An L. Effects of snowfall depth on soil physical–chemical properties and soil microbial biomass in moss – dominated crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern China // *CATENA*, 2018, v. 169, pp. 175-182.

29. Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests // *Geoderma*, 2019, v. 338, pp. 170-177.

30. Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J., Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method // *Procedia Computer Science*, 2017, v. 104, pp. 592-597.

31. Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period load- flows in distribution network planning // *Electric Power Systems Research*, 2018, v. 154, pp. 444-451.

32. Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, v. 133, pp. 116- 123.

33. Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method // *Engineering Science and Technology*, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458-467.

34. Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods // *Food and Chemical Toxicology*, 2016, v. 95, pp. 28-41.

«Лесной вестник» / *Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 4.