

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В.И. Запруднов¹, Н.Г. Серегин^{2✉}, Н.И. Потехин²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

SereginNG@mgsu.ru

Рассмотрены и проанализированы проекты масштабных деревянных зданий и сооружений. Охарактеризованы решения на основе деревянных конструкций, применяемых в масштабных проектах. Приведено описание наиболее востребованных для уникального строительства технологий производства деревянных конструкций. Сделан вывод о перспективах строительства уникальных зданий и сооружений из древесины.

Ключевые слова: уникальное здание или сооружение, древесина, деревянные конструкции, высотное здание, небоскреб, клееная древесина

Ссылка для цитирования: Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Потехин Н.И. Перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136

В настоящее время в России большими темпами идет строительство зданий и сооружений. Широко развернуто строительство с применением древесины. В том числе разработаны и реализованы уникальные здания и сооружения из древесины. Уникальные здания и сооружения должны обладать хотя бы одной характеристикой, приведенной в таблице [1–5].

Характеристика уникальных зданий и сооружений

Characteristics of unique buildings and structures

Характеристика	Значение
Высота, м	>100
Заглубление подземной части, м	>15
Строительный объем, тыс. м ³	>100
Одновременное пребывание посетителей, чел.	>500
Величина пролета, м	>100
Наличие консоли, м	>20

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 ч сохранять прочность вплоть до обрушения.

Цель работы

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 изобретателя И.П. Кулибина (1735–1818) 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



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

Fig. 1. The project of I.P. Kulibin's wooden single-arch bridge across the Neva with a span of about 300 meters

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 сразу решить не мог. Со временем был выбран окончательный вариант, в котором основными 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 масштабом 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 сут.

Отметим, что именно И.П. Кулибин впервые теоретически обосновал применение теории подобия, установив, что макеты, отличающиеся в несколько 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 и он будет вмещать жилые помещения, магазины, офисы и гостиницу.

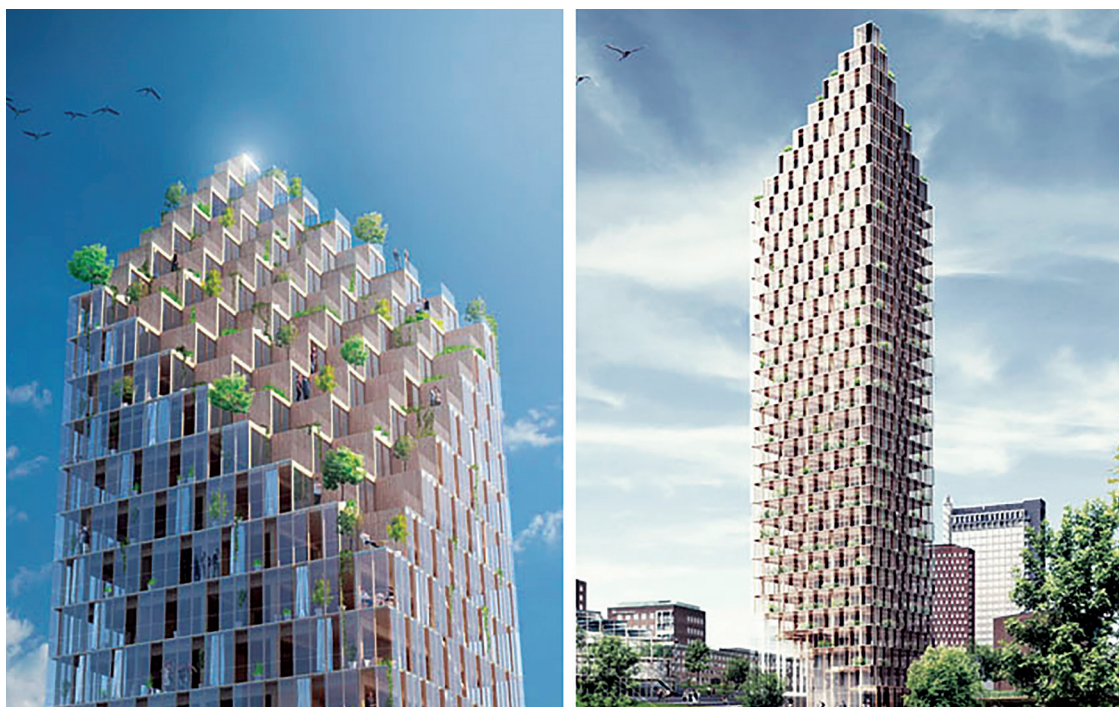


Рис. 2. Проект деревянной высотки Big Wood в Стокгольме высотой в 34 этажа
Fig. 2. The project of a wooden high-rise Big Wood in Stockholm with a height of 34 floors

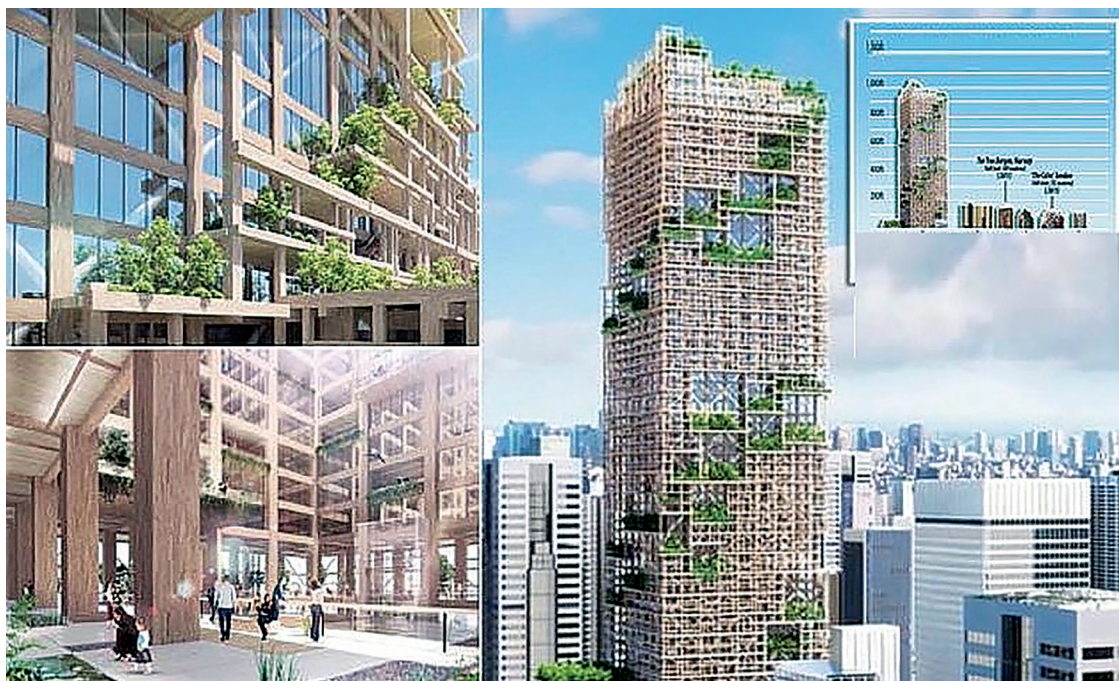


Рис. 3. Проект деревянного небоскреба в центре г. Токио высотой 350 м
Fig. 3. The project of a wooden skyscraper in the center of Tokyo with a height of 350 meters

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.

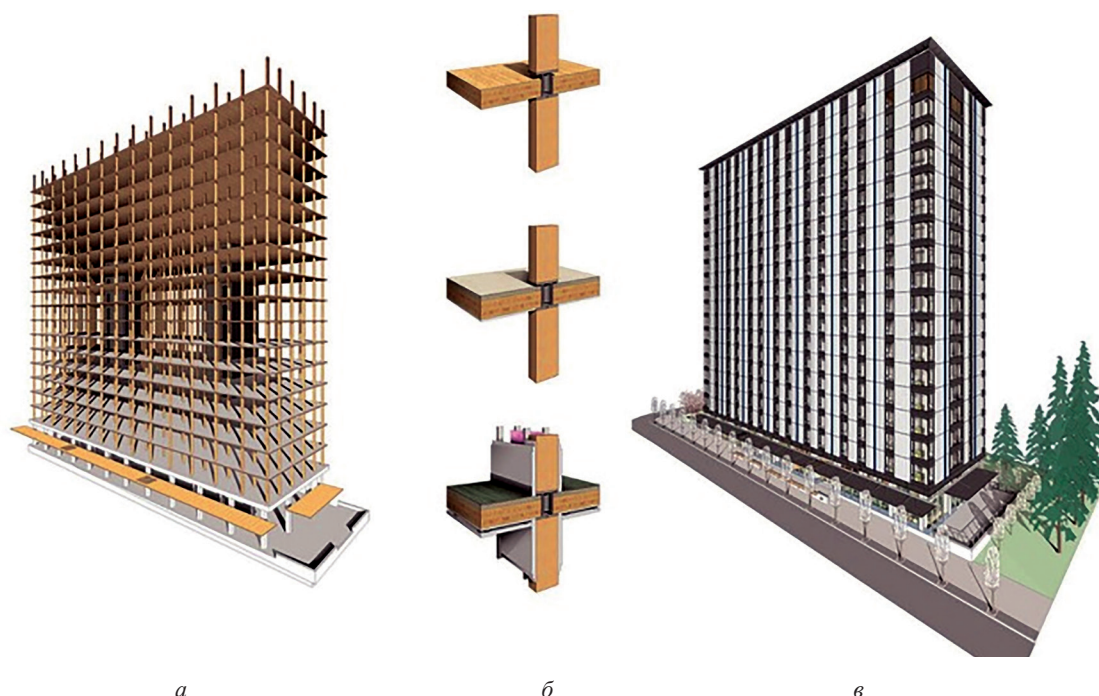


Рис. 4. Конструкция деревянного общежития Brock Commons в Канаде высотой в 17 этажей: *a* — каркас здания; *б* — конструктивные узлы; *в* — общий вид общежития

Fig. 4. The construction of a Brock Commons wooden dormitory in Canada with a height of 17 floors: *a* — the frame of the building; *б* — structural components; *в* — the general view of the dormitory

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 (пятыслоной перекрестно-клееной древесины) с габаритами 2,85×4,0 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 8×2,81 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 панели 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.

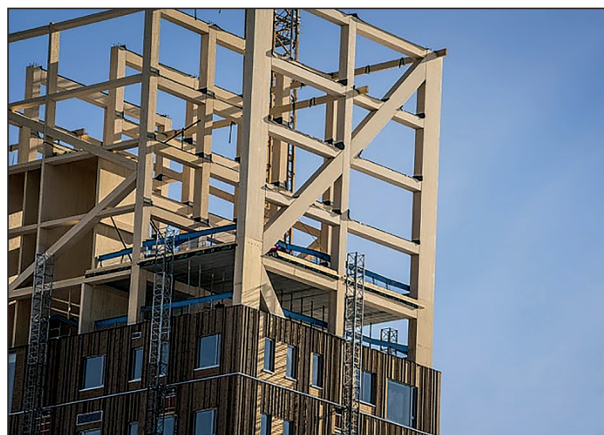


Рис. 5. Конструкция деревянной башни «Мьёс» в Норвегии высотой 85,4 м
Fig. 5. The construction of the wooden skyscraper Mies in Norway is 85.4 meters high

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

Самым высоким на планете деревянным зданием является башня «Мьёс» высотой 85,4 м (18 этажей), построенная за 11 мес., жилой площадью 11 300 м², которая расположена в норвежском г. Брумундале на берегу оз. Мьёс, в 100 км к северу от г. Осло (рис. 5). Это местный центр лесной и деревообрабатывающей промышленности.

На площади 11 300 м² 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 древе-

сина, наряду с такими строительными материалами, как камень, железобетон и металл, имеет значительные перспективы в строительной отрасли.

Выводы

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 «Мьёс», 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. Møller 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.

Список литературы

- [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, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск, 01–04 марта 2022 г. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 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., Andreyachshenko V., 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 Ł.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 L.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.

Сведения об авторах

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgu.ac.ru

Серегин Николай Григорьевич [✉] — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), SereginNG@mgsu.ru

Потехин Никита Ильич — студент ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), potexin-2001@mail.ru

Поступила в редакцию 26.09.2022.

Одобрено после рецензирования 03.04.2023.

Принята к публикации 14.06.2023.

PROSPECTS FOR UNIQUE BUILDINGS CONSTRUCTION AND WOOD STRUCTURES

B.I. Zaprudnov¹, N.G. Seregin^{2✉}, N.I. Potekhin²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

SereginNG@mgsu.ru

Projects of large-scale wooden buildings and structures are presented. The projects of buildings and structures erected using wood are analyzed. The main structural solutions based on wooden structures used in large-scale projects are considered. The most popular technologies for the production of wooden structures for unique construction are described. Based on the analysis of the projects of buildings and structures, it was concluded about the prospects for the construction of unique buildings and structures made of wood.

Keywords: unique building or structure, wood, wooden structures, high-rise building, skyscraper, glued wood

Suggested citation: Zaprudnov B.I., Seregin N.G., Potekhin N.I. *Perspektivy stroitel'stva unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Prospects for unique buildings construction and wood structures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 128–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-128-136

References

- [1] Ashikhina A.A., Isakova V.V., Nikitina A.V. Protective treatment of wooden structures // *Global challenges of the development of natural and technical sciences. Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference in Belgorod on November 29, 2018: LLC «Agency for Advanced Scientific Research»*, 2018. pp. 132–135.
- [2] Ryabova V.I., Deriglazova N.O., Chernyshev A.A. *Ognestoykost' derevyannykh konstruktсий* [Fire resistance of wooden structures]. *Bulletin of KemRIPK*, 2018, no. 5, pp. 61–66.

- [3] Babukhin D.A., Bashkatov A.V., Ponomareva T.V. *K voprosu primeneniya kompozitnykh materialov na osnove drevesiny* [To the question of the use of composite materials based on wood]. *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo: Materialy X Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem* [Education. The science. Production: Proceedings of the X International Youth Forum with international participation], Belgorod, October 01–15, 2018. Belgorod: Belgorod State Technological University V.G. Shukhova, 2018, pp. 669–672.
- [4] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Metodika rascheta proizvodstva kleenogo okonnogo brusa dlya stroitel'nykh konstruksiy* [Methodology for calculating the production of glued window beams for building structures]. *Vestnik MGSU*, 2016, t. 12, iss. 2 (101), pp. 157–164.
- [5] Razin'kov E.M. *Prochnost' skleivaniya pilomaterialov v tekhnologii kleenogo brusa dlya zhilykh domov* [Gluing strength of lumber in the technology of glued laminated timber for residential buildings]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2016, no. 3, pp. 127–134.
- [6] Popova Z.V. CLT-panels: opportunities and prospects // Investments, urban planning, real estate as drivers of socio-economic development of the territory and improvement of the quality of life of the population, Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Publishing House, March 01-04, 2022. pp. 374-380.
- [7] Trebaks E.A. The use of the unique properties of glued wooden panels CLT in the construction of public buildings // Innovations in Science, No. 10 (71) 2017, Publishing House ANS «SibAK» pp. 68-69.
- [8] Zabegina A.R. Typology features of modern buildings using CLT panels // Bulletin of the Moscow Information Technology University – Moscow Institute of Architecture and Construction, No. 1 2021, Moscow. pp. 37-43.
- [9] Klyuchenko M.O. *LVL-brus — konstruksionnyy material novogo pokoleniya* [LVL-beam — structural material of a new generation]. *Sovremennye tendentsii v nauke, tekhnike, obrazovanii: sbornik nauchnykh trudov po materialam IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern trends in science, technology, education: a collection of scientific papers based on the materials of the IV International Scientific and Practical Conference], Smolensk, December 30, 2018. Smolensk, 2018, pp. 7–9.
- [10] Konovalov M.A. *Ispol'zovanie derevyannykh konstruksiy v kachestve al'ternativnoy zameny zhelezobetonnykh konstruksiyam v mnogoetazhnom zdanii* [The use of wooden structures as an alternative replacement for reinforced concrete structures in a multi-storey building]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhov], 2022, v. 7, no. 6, pp. 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., Andreyachshenko V., 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 Ł.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 Ł.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.

Authors' information

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgu.ac.ru

Seregin Nikolay Grigor'evich✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, SereginNG@mgsu.ru

Potekhin Nikita Il'ich — Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, potexin-2001@mail.ru

Received 26.09.2022.

Approved after review 03.04.2023.

Accepted for publication 14.06.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest