Несененко А. А.; науч. рук. — Городова М. Н.
Nesenenko A. A.; scientific advisor — Gorodova M. N.

Деревянная архитектура: возможности разборки и повторного использования, на примере объекта HalseTre.

Wooden architecture: possibilities for disassembly and reuse, using the HalseTre object as an example.

Ключевые слова: деревянная архитектура, строительные материалы, строительные технологии, повторное использование деревянных конструкций, разборка деревянных конструкций, HalseTre.

Keywords: wood architecture, building materials, building technology, reuse of wooden structures, disassembly of wooden structures, HalseTre.

Аннотация: дерево сегодня переживает второе рождение как высокотехнологичный и экологичный материал, позволяющий создавать разборные и повторно используемые конструкции — примечательным примером служит офис HasleTre, где вековые традиции сочетаются с инновациями ради гибкого, устойчивого и человекоцентричного архитектурного пространства.

Abstract: wood is now experiencing a second birth as a high-tech and ecological material that allows the creation of collapsible and reusable structures - a notable example is the HasleTre office, where age-old traditions are combined with innovation for a flexible, sustainable and human-centered architectural space.

Введение

Дерево было одним из первых материалов, освоенных человеком в строительстве. Много веков деревянная архитектура преобладала в жилищном и храмовом зодчестве по всему миру – от азиатских пагод до скандинавских церквей и русских изб [1]. Однако с развитием индустриализации и появлением новых материалов роль дерева значительно сократилась. В XXI веке внимание к деревянному строительству вновь растёт благодаря экологической повестке и современным технологиям, способным придать древесине «вторую жизнь» в виде инженерных материалов. Современные продукты позволяют использовать дерево повторно и открывают новые возможности. В данной статье мы рассмотрим, как возрождённые техники совместно с новыми материалами и технологиями расширяют творческий потенциал архитекторов и увеличивают возможности вторичного использования архитектурных объектов.

В XXI веке древесина возвращается в строительство как инженерный материал, обеспечивающий прочность, стабильность и экологичность. Разработано несколько современных продуктов из дерева, сочетающих природные достоинства материала с высокой стабильностью эксплуатационных характеристик. Клеёный брус, CLT (Cross-Laminated Timber) и LVL (клеёный шпонированный брус) представляют собой разные типы клеёных конструктивных элементов, которые активно используются в проектировании и строительстве. А композитные материалы, такие как ОСБ, ДВП, ДСП, МДФ и другие, применяются в качестве отделочных и обшивочных панелей.

Важнейшую роль в революции многоэтажного деревянного домостроения сыграли клеёный брус (рис. 1) и CLT (рис. 2). Их свойства по сравнению с традиционным бетоном и металлом дают деревянным элементам явные преимущества при выборе конструктивной схемы. Удельная прочность древесины (на единицу массы) очень высока: клеёные деревянные элементы при равной несущей способности значительно легче стальных или бетонных, что снижает нагрузку на фундамент и позволяет экономить на его устройстве. Лёгкие панели удобно транспортировать и монтаж крупными блоками краном сокращает сроки строительства. Теплотехнические качества дерева также на высоте: оно может

выступать в роли утеплителя, в отличие от бетона. В жилых зданиях это позволяет достигать высокой энергоэффективности без дополнительного утепления [2].

Рис. 1. Клеёный брус.

Рис. 2. CLT панель.

Экологичность – ещё один козырь дерева. Цикл производства CLT или клеёной древесины обычно требует меньше энергии и вызывает как минимум на 13 % меньше выбросов CO_2, чем производство эквивалентных по прочности изделий из стали или цемента[3]. Некоторые исследования показывают сокращение углеродного следа на 40 % при замене традиционных материалов на панели CLT [4]. Кроме того, деревянные конструкции в течение всего срока службы здания аккумулируют углерод, поглощённый деревом из атмосферы, тогда как бетон и металл содержат «багаж» промышленных выбросов. Таким образом, переход на дерево в строительстве – важный шаг к снижению углеродоёмкости отрасли

Одно из актуальных направлений устойчивого развития в лесной и строительной отраслях – переработка повреждённой древесины, в частности древесины, поражённой вредителями и болезнями, подлежащей санитарной вырубке. Несмотря на то, что такая древесина

традиционно рассматривается как отход, современные исследования показывают её значительный потенциал в качестве вторичного сырья для производства строительных материалов. Это направление интересно как с точки зрения снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, так и с точки зрения ресурсной эффективности в экономике замкнутого цикла.

С экологической точки зрения переработка древесных отходов позволяет существенно сократить выбросы парниковых газов. Древесина способна долго удерживать связанный углерод даже после прохождения производственного цикла, что делает её одним из ключевых элементов низкоуглеродного строительства. Согласно исследованию на платформе ScienceDirect, использование древесных отходов в строительстве может служить важной стратегией декарбонизации сектора [5].

Дополнительным преимуществом является предотвращение образования метана при анаэробном разложении древесины на полигонах: переработка и повторное использование древесины позволяют снизить объёмы отходов и избежать загрязнения окружающей среды [6].

Помимо экологических эффектов, переработка повреждённой древесины имеет значимые социально-экономические последствия. Во-первых, она создаёт новые рабочие места в цепочке сбора, сортировки и переработки отходов. Во-вторых, позволяет снизить стоимость строительных материалов, особенно в регионах с ограниченными ресурсами. Кроме того, развитие технологий расширяет номенклатуру продуктов из переработанной древесины – от древесно-стружечных плит до инновационных биокомпозитов на полимерных связующих [7].

Для эффективной переработки древесины требуется стандартизация процессов и строгий контроль качества сырья. Например, исследования на платформе ResearchGate предлагают технологические решения по фракционированию, дезинфекции и механической переработке древесных отходов, включая заражённые образцы, что позволяет безопасно и эффективно использовать их в строительстве [8].

Таким образом, переработка повреждённой древесины является важным элементом устойчивой строительной стратегии: она снижает воздействие на окружающую среду, повышает экономическую эффективность и способствует развитию замкнутых производственных циклов, соответствующих принципам циркулярной экономики.

Клеёные массивы не ведут себя при пожаре так же, как целые доски: они медленно обугливаются с поверхности, сохраняя несущую способность продолжительное время. Слоистая структура CLT обеспечивает предупредительное разрушение: при перегрузке панель постепенно прогибается и трещит по слоям, давая людям время на эвакуацию, в отличие от внезапного хрупкого обрушения бетонных плит. Здания из CLT имеют меньшую массу по сравнению с бетонными и стальными конструкциями, что снижает сейсмические нагрузки. Испытания показывают, что правильно скреплённые деревянные панели и рамы выдерживают значительные колебания благодаря упругости соединений. В Японии и Калифорнии уже разработаны проекты многоэтажных домов из дерева, рассчитанные на сильные землетрясения [9]

Наконец, комфорт и здоровье. Дерево создаёт благоприятный микроклимат, регулируя влажность. Внутренние деревянные поверхности визуально и тактильно приятны, что ценят архитекторы, стремящиеся вернуть человеку «естественную среду обитания». Современные нормы даже допускают в высотных зданиях оставлять часть деревянных элементов открытыми в интерьерах (с обязательной огнезащитой критических конструкций), сочетая эстетику и безопасность.

Конечно, у древесины есть и недостатки – горючесть, подверженность гниению и насекомым. Однако современные пропитки, конструктивные решения и системы мониторинга позволяют свести эти риски к минимуму.

Дерево из «второпланового» материала превратилось в высокотехнологичный продукт, способный заменить бетон и сталь во многих случаях. Эта трансформация открыла путь к возрождению деревянной архитектуры на новом уровне.

Тем не менее потенциал панельно-сборного строительства пока не раскрыт полностью: повторно используется лишь 12,5 % конструкций, хотя большинство объектов строится из прямых и прямоугольных элементов. Низкий процент вторичного применения конструкций Павильона всемирной выставки в Осаке вызвал бурные обсуждения в профессиональных кругах. Многие объекты из CLT или клеёного древесного комплекса после демонстрации можно разобрать и использовать их элементы повторно, например для типовых проектов школ, детских садов или социальных гостиниц для людей в сложных жизненных ситуациях.

Возможность повторного использования нужно закладывать на этапе проектирования: чем меньше повреждений у элемента, тем больше вариантов его «второй жизни». Одной из верных стратегий будет сокращение количества врубок и адаптация крепёжных узлов.

История архитектуры подарила нам известные объекты, построенные без единого гвоздя, – например, церковь Преображения Господня на острове Кижи и храм Хорю-дзи в Наре. С развитием строительной отрасли узлы с деревянными нагелями и шпонками появились в разных сферах практики. Хотя они вместе с традиционными деревянными материалами были вытеснены новыми разработками, они не ушли в небытие и используются по сей день. Шпонки (рис. 3) и нагели (рис. 4) имеют схожие преимущества: надёжное соединение без клея и металла позволяет исключать «мостики холода», они не подвержены коррозии, компенсируют усадку древесины, уменьшают риск деформаций и повышают изгибную жёсткость конструкций, работая в основном на сдвиг [1].

Рис. 3. Деревянная шпонка.

Рис. 4. Деревянный нагель

В ответ на потребность в надёжном скреплении CLT-панелей появилась система крепежа X-Fix (рис. 5). Она позволяет быстро и легко выполнять стеновые или потолочные соединения: система самозатягивается и блокирует панели, фиксируя их положение. Подвид X-Fix L – линейный разъём для L-, T- и продольных соединений стен CLT. Крепёж монтируется в панели и становится невидимым, что идеально для конструкций с финишной отделкой. Система даёт ряд преимуществ: соединение без метизов, минимизация отходов CLT-панелей (до 30 % экономии материала), фабричное производство с фрезеровкой на ЧПУ-центрах, простоту транспортировки и возможность быстрой замены при повреждениях [10]

Рис. 5. Крепеж X-Fix.

Отличным примером полностью деревянного объекта является офисное здание HasleTre в Осло, за авторством бюро Oslotre [11]. Проект получил престижную норвежскую премию «Деревоведение 2022» и в 2024 году был признан «Деревянным сооружением года» в Норвегии.

Офис, возведённый в 2022 году на окраине Осло, задуман как экологически чистое, универсальное и гибкое коммерческое здание с элементами, пригодными для разборки и повторного использования. Композиция из двух пересекающихся объёмов образует L-образный план: трёхэтажная «нижняя» часть переходит в четвёртый уровень с отступом, образующим открытую террасу. Фасад по улице организован строгой модульной сеткой 3×3: крупные горизонтальные окна придают визуальную лёгкость, а скрытые откосы создают

тонкую тень-бортик. Первый этаж почти полностью остеклён «с потолка до пола», создавая эффект парящего объёма и визуально сближая интерьер с окружением (рис. 6).

Рис. 6. Фасад.

Внешняя облицовка выполнена из тесаной лиственничной плитки (шинделя) с чётким горизонтальным швом. Нейтральный светло-коричневый тон подчёркивает естественные характеристики материала, а тональность меняется в зависимости от освещения. Днём здание выглядит камерно и уютно, а в сумерках внутреннее освещение через большие проёмы превращает первый этаж в гостеприимное пространство и освещает окружение здания, делая его визуально безопасным. Фасадное освещение формируется панорамными окнами и накладными светильниками на первом этаже (рис. 7).

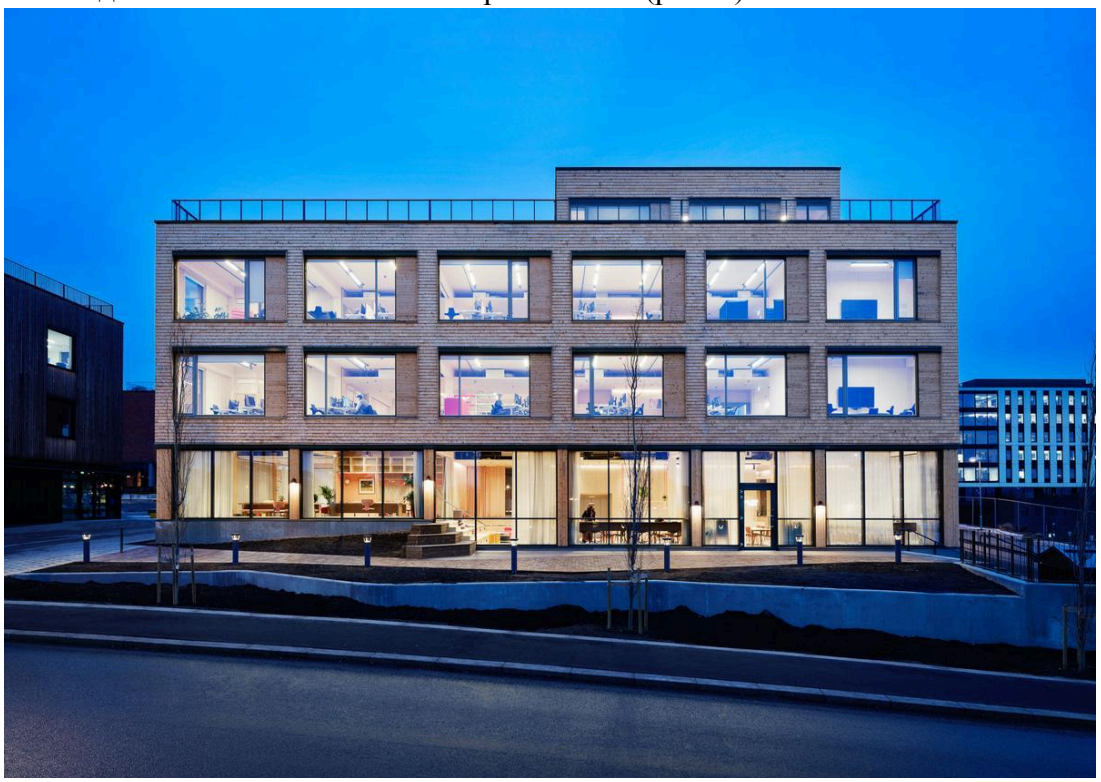

Рис. 7. Вид со стороны улицы.

Перед фасадом устроена мощёная площадка из серых бетонных плит; небольшие посадочные уступы и встроенные лавочки образуют ландшафтный акцент. Молодые липы и

клёны в тандеме с тёплым деревянным фасадом сглаживают переход от урбанистической мощёной поверхности к природному окружению (рис. 8, 9).

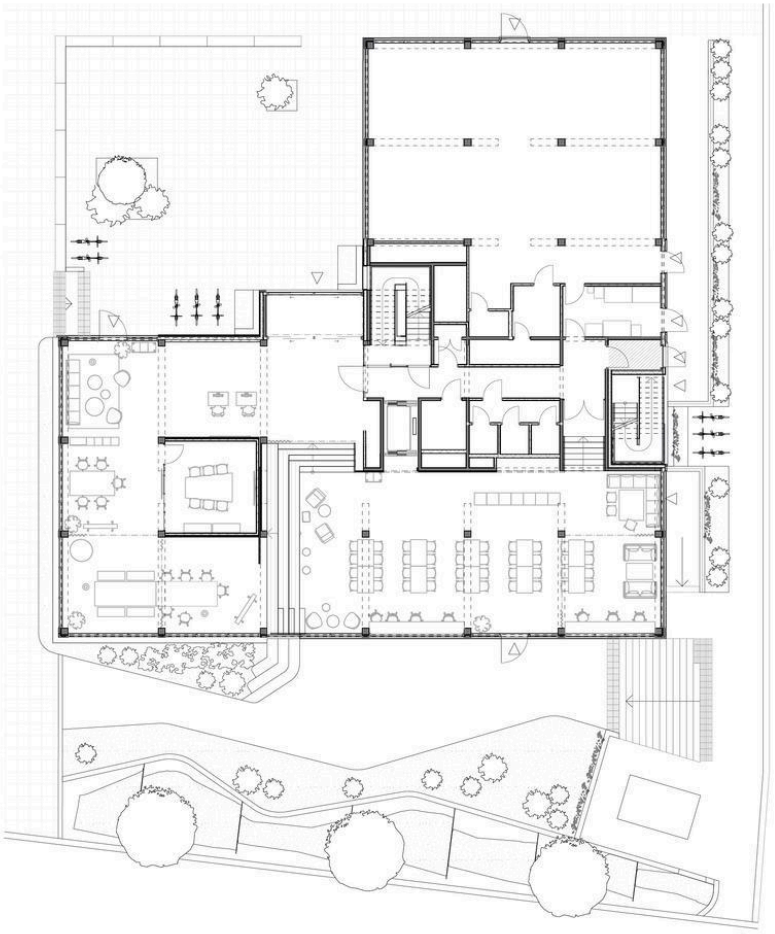

Рис. 8. Генплан совмещенный с планом первого этажа.

Рис. 9. Вид со двора офиса.

Офис сочетает модернистскую строгость и природную теплоту материалов. Площадь здания – 3000 м², пять этажей включая подвал и террасы на крыше. Конструктивная система – массивный деревянный каркас с минимальным числом врубок, раскрой CLT выполнен с учётом сокращения отходов. Гибкая сетка колонн 5×5 м позволяет трансформировать пространство – от небольших кабинетов до больших открытых рабочих зон [12] (рис. 10)

Рис. 10. План 2 и 3 этажа.

В интерьере преобладают открытые элементы из дерева, пробки и шерсти (рис. 11, 12). Используя гигротермальные свойства этих органических материалов, здание снижает потребление энергии, улучшает самочувствие и концентрацию людей, а также уменьшает заболеваемость.

Рис. 11. Интерьер.

Рис 12. Интерьер.

Строительство осложнялось балансом между авангардными материалами и нормативными требованиями. Проектировщики получили поддержку концепции после детальных разъяснений устойчивых преимуществ. Сборка и разборка стали возможны благодаря тщательному планированию элементов и их соединений: стандартизированные размеры компонентов с минимальной перфорацией снизили отходы и оптимизировали логистику. Монтаж клеёных колонн выполнен вклеенными буковыми нагелями, а для соединения CLT использованы системы X-Fix (рис. 13). Это позволило создать объект без использования стали, сократив её применение более чем на 80 % по сравнению с аналогами и обеспечив адаптируемость и долговечность конструкции [13]. HasleTre был возведён за рекордные девять месяцев.

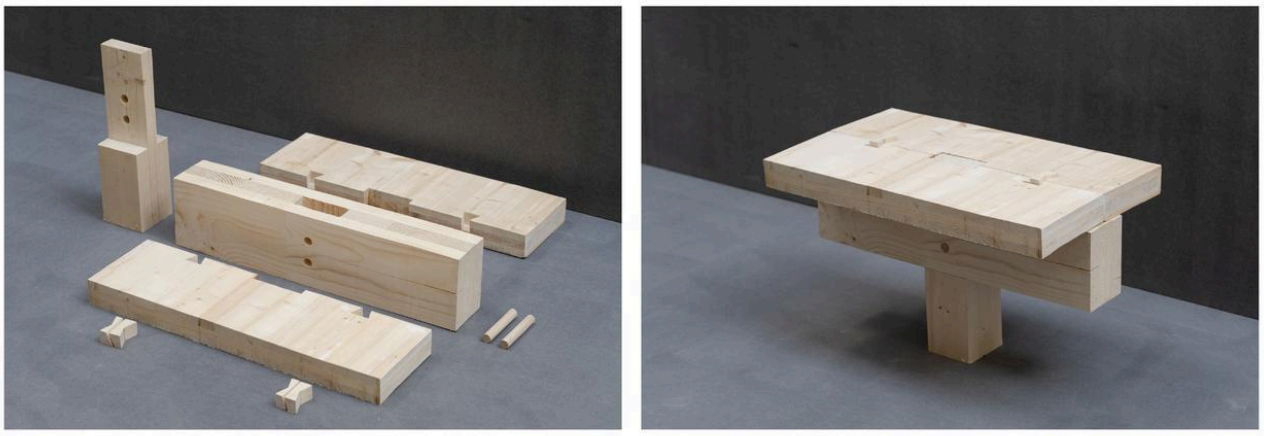

Рис. 13. Деревянные соединения.

В поисках решения климатических проблем и формирования устойчивого будущего авторы предложили новаторскую модель архитектуры, основанную на экологической осознанности, адаптивности и инновациях. Офис не только удовлетворяет функциональные потребности, но и снижает выбросы парниковых газов на 59 %, сертифицирован по стандарту BREEAM NOR Excellent. В проекте также использованы переработанные материалы: потолочные плиты, полы и мебель на 60 %, а 40 % оставшихся – биоразлагаемые или промышленные отходы, включая пластик, собранный в океане [14].

HasleTre демонстрирует новый уровень экологичного проектирования: сочетание устойчивых методов, новейших технологий и возможностей деревянных материалов и соединений создаёт архитектуру, безопасную для человека и природы.

Библиография:

1. Слицкоухов Ю.В., Буданов В.Д., Гаппоев М.М. и др. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. для вузов/ Ю.В Слицкоухов, В.Д. Буданов, М.М. Гаппоев и др. – Москва: Стройиздат, 1986. – 5-12, 153-165 с.
2. Жулидова М.А., Чубарук В.А., Циулин Е.Ю. и др. SEGEZHA CLT MANUAL Каталог типовых архитектурных узлов и деталей с применением перекрестно- клееной древесины (CLT)/ М.А. Жулидова, В.А. Чубарук, Е.Ю. Циулин и др. – Москва – 5 с.
3. ScienceDirect: научная статья. - URL: Comparative sustainability evaluation of two engineered wood-based construction materials: Life cycle analysis of CLT versus GLT, 2021 (дата обращения: 19.05.2025)
4. mit.edu: Интернет – портал. - URL: How does the climate impact of cross-laminated timber compare to steel or concrete? (дата обращения: 19.05.2025)
5. ScienceDirect: научная статья. - URL: Building materials in a circular economy: The case of wood waste as CO2-sink in bio concrete, 2021(дата обращения: 19.05.2025)
6. PubMed Central: научная статья. - URL: Building Materials Made of Wood Waste a Solution to Achieve the Sustainable Development Goals, 2021 (дата обращения: 19.05.2025)
7. PubMed Central: научная статья. - URL: A Review of the Environmental Benefits of Using Wood Waste and Magnesium Oxychloride Cement as a Composite Building Material, 2023 (дата обращения: 19.05.2025)
8. ResearchGate: научная статья. - URL: Recycling of Wood Composites and Solid Wood Products, 2007 (дата обращения: 19.05.2025)
9. SpringerOpen: научная статья. - URL: Performance evaluation of multi-storey cross-laminated timber structures under different earthquake hazard levels, 2018 (дата обращения: 19.05.2025)
10 X-fix wood connector GmbH: Интернет – портал. - URL: How does X-fix work? (дата обращения: 19.05.2025)
11. oslotre.no: Интернет – портал. - URL: HasleTre/ World’s first wooden office building designed for disassembly (дата обращения: 19.05.2025)
12. HASLE TRE: Norway’s first timber office building designed for disassembly and reuse:научная статья. - URL: HASLE TRE: Norway’s first timber office building designed for disassembly and reuse (дата обращения: 19.05.2025)
13. e-architect: Интернет – портал. - URL: HasleTre Reusable Building in Oslo, Norway(дата обращения: 19.05.2025)
14. ArchiDiaries: Интернет – портал. - URL: HasleTre. Oslotre AS (дата обращения: 19.05.2025)