

НАЗАД В БУДУЩЕЕ ИЛИ ВОЗВРАЩАЯСЬ К ДЕРЕВЯННЫМ НЕБОСКРЕБАМ

Ю.М. Евдокимов[✉], Т.П. Дialeктова, В.Ю. Прохоров

ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (АГПС МЧС России),
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4

evdokur@mail.ru

Рассмотрена проблема строительства уникальных сооружений из древесины. Освещен отечественный и зарубежный опыт по возведению уникальных конструкций и высотных жилых зданий из древесины и создания материалов на ее основе (древесных композитов, клееной древесины, CLT-панелей, в том числе, усиленных тканями и ламелями на основе углеродных волокон, базальтовых и льняных волокон, графеновых пленок и т. п.). Сделан вывод о необходимости дальнейшего изучения данного вопроса с учетом свойств клееной древесины, композитов на ее основе, пород древесины, природы адгезивов, из которых они изготовлены, данных по мониторингу прочности и иных показателей возведенных конструкций.

Ключевые слова: древесина, клееная древесина, композиты, адгезия, небоскребы, CLT-панели

Ссылка для цитирования: Евдокимов Ю.М., Дialeктова Т.П., Прохоров В.Ю. Назад в будущее или возвращаясь к деревянным небоскрегам // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 4. С. 114–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-114-125

На протяжении длительного времени древесина является недорогим экологичным, легким, прочным, возобновляемым материалом, способным при возникновении пожара сохранять прочность вплоть до обрушения за счет современных способов антисептических, пожаростойких и иных пропиток, армирования ее угле-, стекло- и наноцеллюлозными волокнами, в том числе джутовыми, графеновыми и т. п.), использовалась и используется в строительстве уникальных зданий и сооружений, в частности домов, храмов, парусных кораблей, пароходов, мельниц, ветряков, самолетов и т. п.). Усталостная прочность древесины и прочность на сжатие превышают такие же показатели для металлов, не считая способности древесины значительно снижать выбросы диоксида углерода в атмосферу при использовании ее в строительстве вместо железобетона и металла. Более подробно о механических, адгезионных и иных свойствах древесины, композитов на ее основе, CLT-панелей, возведении высотных конструкций и зданий из древесины можно почерпнуть из работ [1–36].

Цель работы

Цель работы — рассмотрение перспектив строительства уникальных зданий и сооружений из древесины и материалов на ее основе.

Результаты и обсуждение

Авторы работы [1] подробно анализируют проекты масштабных деревянных зданий и сооружений начиная с проекта деревянного моста И.П. Кулибина через р. Неву с пролетом длиной около 300 м. Примерно в те же годы был возведен Преображенский храм в Кижях с каркасом из древесины высотой 37 м. Можно привести и колокольню Петропавловского собора в Санкт-Петербурге со шпилем высотой 30 м, созданного на основе древесины, который просуществовал 140 лет до замены. «Дубовый» шпиль собора Нотр-Дам-де-Пари высотой около 100 м (г. Париж, Франция) разрушился во время пожара 2019 г., но через 5 лет был восстановлен. Для его восстановления потребовалось переработать 100 дубов 200-летнего возраста и покрыть их свинцом. Для восстановительных работ были приглашены российские специалисты (инженеры-механики и древесиноведы). Россия как наследница СССР имеет огромный опыт по массовому строительству самолетов из бакелитовой фанеры (ИЛ-2, ЯК-6, Ла-5, ПО-2 и др.) — было выпущено более 33 тыс. в течение 1930–1943 гг. Контроль на горючесть проверял непосредственно И.В. Сталин: когда для ознакомления предоставили образцы бакелитовой фанеры, он тут же в присутствии специалистов высыпал горячий пепел из своей знаменитой трубки на фанеру и подождал 5 мин. Не обнаружив никаких изменений на поверхности

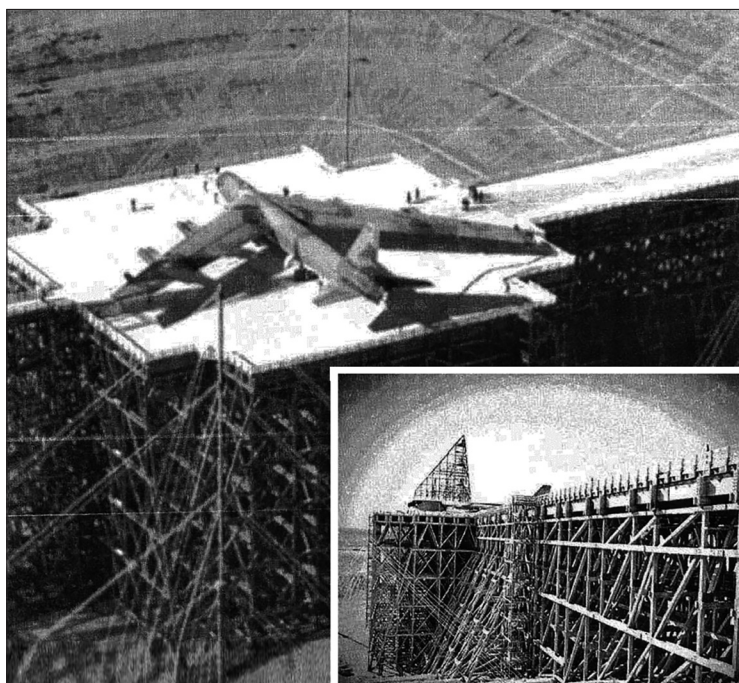


Рис. 1. Испытательный стенд Trestle Stand (США)
Fig. 1. Test berch (bed) Trestle Stand (USA)

фанеры, он дал распоряжение на серийное производство фанерных самолетов (в военное время решать проблемы приходилось быстро).

Из более близкого времени, можно упомянуть 13-этажный деревянный дом высотой 38 м, архангельского предпринимателя Николая Сутягина, сгоревший в 2012 г. по неизвестным причинам и дом, построенный Г. Берджессом из США высотой около 30 м. Крупнейшим строением из древесины на сегодняшний день является испытательный стенд Trestle Stand (США).

Конструкция (рис. 1) выдержала вес полностью загруженного стратегического бомбардировщика В-52. Она была построена в 1947 г. в целях отработки выживаемости в условиях ядерного взрыва, для чего под стендом установили мощнейший импульсный генератор электромагнитного излучения мощностью, соответствующей таковой при ядерном взрыве.

В настоящее время почти все архитекторы работают с деревом. Деревянные конструкции используются при создании проектов аэропортов, конференц-залов, офисов, культурных и строительных объектов, и все больше при строительстве жилья [1, 3, 11–16, 22, 25–27, 30–35]. Деревообрабатывающая отрасль разрабатывает технологии создания большепролетных клееных деревянных конструкций, которые можно использовать при строительстве крупных строительных и производственных сооружений. В частности, подобные конструкции имеются

в здании Совета Европы в Страсбурге, в сооружении над крытым конькобежным катком «Олимпийский овал» в Калгари (Канада), у Дворца водных видов спорта в Казани (Россия) и др. Одним из самых высоких строений из древесины на данный момент времени является деревянный небоскреб «Ascent» в городе Милуоки (США, 2022 г.) высотой 86,6 м (рис. 2).

Технологии деревянного строительства развиваются. Так, в производстве деревянных стен используется 3D-печатная технология [3, 11, 19], чему способствует термическая обработка древесины с заполнением микропор в ее структуре специальным пластиком и целлюлозными смесями, что в итоге приводит к прочности изготовленных «3D-печатных» домов, не уступающих традиционным деревянным.

Однако пока в России на деревянное строительство приходится менее 12 %. Древесина применяется в основном для дачного строительства. Хотя долго обсуждается массовое строительство многоэтажек, детских садов, больниц, спортивных объектов с использованием деревянных конструкций. Проект «Развитие деревянного домостроения на территории Российской Федерации» разрабатывается Минпромторгом России. В нем указана необходимость создания условий для увеличения объемов производства и использования в строительстве продукции деревянного домостроения на начало 2025 г. до 20 %.



Рис. 2. Высотное здание из древесины (США)
Fig. 2. High-rise building made of wood (USA)

Принят свод правил по проектированию и строительству деревянных высотных зданий: СП 516.1325800.2022 «Здания из деревянных срубных конструкций. Правила проектирования и строительства». Специалисты считают, что такие дома не будут отличаться по прочности, качеству, долговечности и безопасности от зданий из кирпича и бетона [11, 14, 33, 35]. Правда, предстоит преодолеть психологический барьер — стереотип о том, что дерево не такой прочный строительный материал, хорошо горит и т. п., хотя сваи из лиственницы с петровских времен до сих пор «держат груз» домов в Санкт-Петербурге. А дома из лиственницы в бывшей русской крепости Свеаборг (Финляндия) до сих пор стоят как новые, хотя им более 200 лет. Что касается мифа о пожарной опасности, то древесина ведет себя лучше, чем железобетон и металлы. Известно, что древесина вначале обугливается и сама себя защищает в течение длительного времени от разрушения (особенно это касается пропитанных современными огнезащитными составами строений из древесины). Конструкции из железобетона при

воздействии огня разваливаются до состояния песка, а металлоконструкции «размягчаются» и прогибаются (разрушаются) под нагрузкой. В связи с этим шведским пожарным при тушении пожаров запрещено заходить внутрь любых зданий, за исключением деревянных. Кроме того, древесина позволяет создавать уникальные конструкции практически без ограничения архитектурного творчества.

Деревянные многоэтажные сооружения можно и нужно строить не только в малых городах, но и в мегаполисах. Предлагается использовать древесину и в целях реконструкции пятиэтажных зданий без их сноса, поскольку есть возможность провести ремонт и надстроить несколько этажей из древесины. Идея многоэтажного деревянного района (архитектор Т. Кузенбаев) площадью около 80 тыс. м² (Wood-city–2018) предполагает надстройку пятиэтажных зданий двумя-тремя этажами на основе деревянных конструкций. Пространство между домами также предполагается заполнить деревянными конструкциями. Таким образом можно создать замкнутый квартал с зоной отдыха для его жителей [23].



Рис. 3. Фанерный самолет Говарда Хьюза
Fig. 3. Aircraft of G. Hughes from plywood

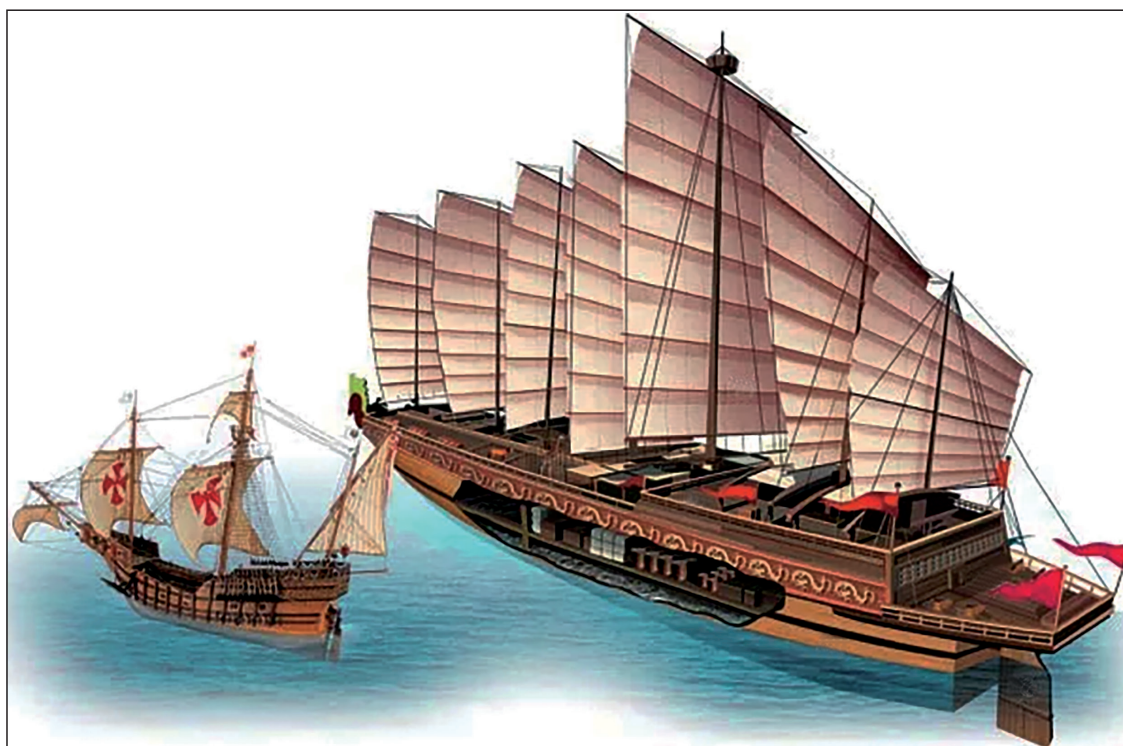


Рис. 4. Древняя китайская джонка с парусами из дощечек бамбука
Fig. 4. An ancient Chinese junk with sails made of bamboo planks

В 1942 г. в США был построен самый большой в мире самолет, изготовленный из березовой фанеры, армированной алюминиевой фольгой — транспортная летающая лодка Говарда Хьюза Н-4 Hercules): размах крыльев 98 м, масса 136 т (рис. 3).

Что касается высотных строений из древесины, рекорд пока сохраняется за решетчатыми опорами высотой 190 м, построенными из древесины в 1933–1934 гг. близ г. Мюлаккер

(Германия), в которые была вмонтирована вертикальная проволочная антенна, усиленная металлическим кольцом диаметром 10,6 м. В 1945 г. они были взорваны в целях сохранения секретности от громивших Германию союзников. Нельзя не упомянуть знаменитую Башню Теслы (Башня Ворденклиф) высотой 57 м, сооруженную из древесины, которая удерживает на вершине металлический купол диаметром 20 м. Энергию с ее помощью получить не удалось.



Рис. 5. Шхуна «Вайоминг» (США, 1909)

Fig. 5. Schooner «Wyoming» (USA, 1909)

Особых успехов удалось достичь в строительстве деревянных джонок, судов и кораблей. Их размеры поражают воображение до сих пор. Суда — корабли Древнего Китая (эпоха династии Мин, 1368–1644 гг.) — имели длину более 100 м, ширину около 50 м, экипаж составлял до 500 человек, — водоизмещение — до 2000 т, а по размеру превосходили корабли Христофора Колумба и Васко да Гама (рис. 4) [18].

На таких судах адмирал Чжэн Хе ходил по многим морям и океанам, посещая десятки стран и континентов, включая Америку. Не сильно отставали древние Япония и Корея. Их весельные или парусные корабли (эпоха Эдо, 1603–1868 гг., и господство династии Чосон, 1392–1897 гг.) были чуть меньших размеров, однако имели хорошее вооружение (например, корейский таран — корабль черепаха).

Самым большим деревянным кораблем в мире (рис. 5) была шестимачтовая шхуна «Вайоминг» (США) длиной 450 футов (137 м), спущенная на воду в 1909 г., которая могла перевозить 6000 т груза (угля). Любопытно, что в первой книге Библии «Бытие» (гл. 6–9) указано, что Ноев ковчег был в длину 300 локтей, что сравнимо с длиной «Вайоминга», который через 15 лет затонул, попав в сильнейший шторм. Был на «Вайоминге» и паровой двигатель, ко-

торый использовался для вспомогательных задач — натягивания канатов, зарифления парусов и откачки воды.

Изложенное выше открывает причину возврата к деревянному строительству, в частности высотному деревянному домостроению.

Россия — лесная держава, поэтому предполагаем, что у нее есть большие возможности для развития этого направления [3]. Если проследить некоторую хронологию этого вопроса, то первой можно упомянуть Швецию, простроившую 10–15 лет тому назад несколько четырех- и восьмизэтажных деревянных домов, которые до сих пор прекрасно держат нагрузку. Далее подобное строительство подхватили несколько стран — Норвегия, Финляндия, США, Канада, Япония, Италия и Россия. Были реализованы проекты деревянных зданий в 17 (Канада) и 34 этажа (Швеция), деревянной башни «Мьес» высотой 85,4 м (Норвегия) и 350-метрового небоскреба (Япония).

Из этого следует, что древесина и материалы на ее основе могут выдержать столь мощную нагрузку. Исполинские секвойи, произрастающие в США, высотой до 120 м и практически негорючей корой, а также австралийские эвкалипты с обхватом ствола с десятков метров и высотой до 140–150 м в реальных условиях

выдерживали свою массу, достигающую 1900...2000 т, хотя их древесина на сжатие не так прочна — она лучше «работает» на кручение. Несмотря на это древесину (дуб, сосну) с давних пор использовали в качестве крепи стволов при проходке туннелей в угольных шахтах, которые подвергались мощному горному давлению. Срок службы этих стволов достигал 50...80 лет с учетом предела прочности древесины 650 кг/см², а требовали они только текущего ремонта, в частности замены отдельных полностью сгнивших стволов крепи [2].

С развитием производства клееной древесины и древесных композитов с использованием клеев удалось повысить прочностные характеристики конструкционных материалов на основе древесины за счет повышения адгезионной прочности. Некоторые высотные строения возводятся с использованием клееного бруса с предусмотренными узлами быстрого соединения. В качестве перекрытий пригодными оказались CLT-панели (массивные плиты из 3...11 слоев досок, цельных или соединенных по длине на зубчатый шип — перекрестно-клееная древесина) размером 2,85×4,0 м, выдерживающие нагрузку и распределяющие ее от расположенных выше этажей на конструкции нулевого цикла (железобетонные). Стены здания при этом формируют из готовых фасадных панелей размером 8×2,81 м, т. е. деревянных конструкций, с заполнением стекловолоконными плитами и обшивкой из древесноволокнистых плит высокого давления, с установленными на заводе-изготовителе окнами. Сами CLT-панели (Cross-Laminated Timber panels) формируют из хорошо высушенных досок толщиной 16...50 мм и более. Их соединяют шипами в плоские панели и складывают «бутербродом» из 3...11 слоев, волокна которых ориентированы перпендикулярно. Древесину чередуют с клеями (адгезивами) — фенольными, меламиновыми, полиуретановыми и иными. Подобные панели обладают высокой несущей способностью, стойкостью к сейсмическим нагрузкам, поскольку древесина (ее основной компонент целлюлоза) и адгезивы имеют множество активных функциональных групп (-ОН, -CH₂ОН, N=C=O, иные), что позволяет им связываться между собой не только за счет межмолекулярного взаимодействия и связей типа водородных, но и вступать в химическое взаимодействие, обеспечивая высокие физико-механические характеристики и долговечность древесным композитам [4, 6, 8, 10–17, 27] с учетом необычных свойств самой древесины [7, 8, 30] и бионических конструкций с ее использованием [5, 9].

Кроме этого, древесные CLT-панели можно усилить углепластиковыми ламелями, стержнями, тканями из углеродных, базальтовых и растительных волокон (целлюлозными, джутовыми, Fibre-Reinforced Poilymers, иными), что приводит к увеличению прочности на 48 %, жесткости — на 27 % и несущей способности образцов — до 70 % [14, 17, 19, 27] (лучшие результаты были получены на трехслойных панелях, усиленных одно- и двуправленными композитными тканями). Строения на основе древесины и клеев кроме изложенных, выполняют и экологическую функцию, снижая (за счет связывания CO₂) выбросы диоксида углерода в атмосферу на десятки тысяч тонн в год.

На строительство, в частности, токийской высотки необходимо примерно 180 тыс. м³ древесины [3]. Учитывая, что в мире в стадии строительства находятся уже десятки небоскребов на основе древесины, удручает огромное количество качественной древесины, которое потребуется для этих целей. Не потерять бы большие массивы лесов — тут не поможет и возобновляемость сырья. На наш взгляд, необходимо обустраивать и создавать специальные плантации — делянки для выращивания лесов необходимых пород на древесину, предполагаемую для строительства высотных деревянных домов и конструкций.

Отметим, что пока чаще используется гибридное строительство с чередованием древесных панелей и бетонных плит для поддержания необходимой высоты построек и устойчивости к ветровым нагрузкам. Некоторые конструкции укреплены диагональными стальными балками, прежде всего башня River Beech Tower в Чикаго — 80-этажный небоскреб [3]. Древесина и материалы на ее основе при высотном домостроении имеют лучшую перспективу для использования по сравнению с металлами и железобетоном (вследствие отсутствия коррозии, легкости сборки и относительной дешевизны). Кроме этого, CLT-панели с тонким бетонным покрытием становятся практически огнеупорными, их использование может снизить глобальные выбросы диоксида углерода на 15...20 % [3].

Ныне большая часть домов строится из клееной древесины и иных материалов на ее основе. В Швеции эта доля составляет 78 %, в Канаде — 83, в Финляндии и США — свыше 80 %. В основном это частные дома малой этажности. Многоквартирные дома возводятся преимущественно из железобетона. Тем не менее прослеживается ситуация, когда все большую популярность приобретает строительство на основе деревянных конструкций — это осо-

бенно касается зданий высотой от 3–5 этажей и выше. Подобные технологии имеют большую перспективу для социальных объектов и построек в удаленных районах, где нет развитого строительства из кирпича и бетона.

Здания из древесины высотой в пять этажей и выше — мировая актуальная архитектурная тенденция. В Канаде деревянных высоток уже более 500. В Австрии доля индустриального деревянного домостроения составляет 25 %. Считается, что такие здания намного экологичнее и экономичнее своих бетонных и каменных собратьев. Постройки зданий из древесины и арболита — бетона, в котором вместо песка используются растительные наполнители, наносят меньший ущерб окружающей среде, а интегрированная в сооружения система вентиляции не только очищает воздух, но и улавливает диоксид углерода [3]. В итоге за 60 лет эксплуатации здание поглотит больше CO₂, чем было выброшено при его строительстве.

В настоящее время на стадии строительства находится 70-этажный небоскреб Sumitomo Forestry в Токио и другие высотки [3].

К преимуществу домов из древесины можно отнести возможность постройки из сборных конструкций, что сокращает сроки строительства. Некоторые здания состоят из железобетонного сердечника (лифтовая шахта и лестничные пролеты) и деревянных конструкций. Сердечник обеспечивает жесткость и устойчивость сооружения [3, 23]. Из клееной древесины изготовлены колонны, а стены, перекрытия и перегородки — из CLT-плит. Полностью исключить бетон не удалось — снижалась устойчивость здания и огнестойкость. Однако несмотря на это доля древесины составляла около 75 %, в качестве строительного материала часто использовалась древесина лиственницы, прочная и водостойкая. Например, Лондонская компания Stadthaus построила дом в австралийском Мельбурне, получивший название Fort Living. Для строительства было изготовлено 795 готовых к монтажу внутренних и наружных CLT-панелей и крепеж — 5500 уголкового кронштейнов и 34 550 шурупов и винтов. Из Австрии в Австралию домокомплект был доставлен на двух судах в 25 контейнерах. Для фасада зданий часто использовался цементно-древесный материал (этернит), который не воспламеняется ни при каких обстоятельствах, хотя вопросы по пожарной безопасности возникают, особенно у российских специалистов, поскольку в России есть требования к огнестойкости по классу пожарной опасности, а в некоторых европейских странах такие требования отсутствуют. Однако используется спринклерная система. В трубах

спринклеров вода находится под давлением, и в случае высокой температуры выпускается и гасит огонь. В Европе массовых пожаров при таких либеральных нормах не возникало, но надо учитывать, что российские условия отличаются от европейских и какой-то компромисс придется пойти при сотрудничестве.

Люди, проживающие в деревянных высотках из древесины, ценят их за комфортный микроклимат. Внешний вид таких домов отнюдь не подчеркивает наличие в них деревянных конструкций. Часто они имеют навесной фасад или облицованы плиткой, стоят на бетонном фундаменте, оборудованы современной инфраструктурой, в том числе лифтами. В России подобных примеров пока нет, однако началось проектирование 12-этажного деревянного здания, которое предполагают построить в Москве [23].

В начале июля 2022 г. Минстрой России и МЧС России утвердили дорожную карту по развитию деревянного домостроения на период до 2024 года. Ведомства намерены подготовить проекты общественных зданий и жилых домов высотой до 12...16 этажей и на последующие годы. Конструкции планируют построить из CLT-плит, многослойного клееного бруса и шпона. Кроме того, разработан комплекс мер по обеспечению пожарной, механической безопасности, сейсмической стойкости. К тому же один деревянный многоэтажный жилой дом расположен в Новосибирске (ЖК «Горки Академпарка»). Он сооружен по технологии с использованием LVL-бруса (Laminated Vanner Lumber), многослойной конструкции из шпона хвойных пород древесины, проклеенной под высоким давлением. Во всех квартирах предусмотрена повышенная гидроизоляция.

У древесины значительно ниже уровень естественной радиации, чем у бетона и кирпича. Местные (новосибирские) власти планируют использовать подобную технологию для строительства социального жилья и служебных квартир. Естественно, что у деревянных высоток есть свои плюсы и минусы. Эти здания экологичны, быстро возводятся, приводят к снижению выбросов оксида углерода, позволяют сэкономить огромное количество воды. Владельцы жилья имеют значительную экономию по платежам за отопление, так как древесина эффективно сохраняет тепло. Древесину можно использовать как природный материал и как результат технологической переработки, работая по современным технологиям. Древесина легче и технологичнее многих строительных материалов, менее энерго- и ресурсоемка в строительном процессе, легко поддается вторичной переработке, может быть полностью

утилизирована. Она относится к возобновляемым ресурсам, воссоздающимся практически без участия человека.

Строятся деревянные многоэтажные здания по сравнению с бетонными просто стремительно. К примеру, коробку общежития Brock Commons площадью около 15 тыс. м² возвели за 57 сут. силами девяти рабочих [24, 36]. Однако испытания показали, что древесные композиты — не самый горючий материал. Деревянные конструкции сопротивляются огню после начала возгорания 45 мин, в то время как железобетон крошится за 15 мин, а металлические конструкции уже через 4 мин становятся пластичными [13–16, 29]. Относительно стоимости мнения расходятся. Шведы считают, что деревянные дома при масштабировании домостроения на всю страну будут ниже по себестоимости на 5...20 %, чем бетонные конструкции. В России строить деревянные высотки пока дорого из-за отсутствия опыта и проверенных современных технологий. Иногда высотному домостроению препятствуют различного рода законодательные акты.

Изменить ситуацию в лучшую сторону поможет тщательный контроль за состоянием уже возведенных конструкций. В настоящее время все деревянные высотки снабжены всевозможными датчиками — сенсорами, регистрирующими различные параметры состояния строений от влажности, смещения отдельных элементов до потери прочности, устойчивости, долговечности. Можно указать на старые проверенные «методы контроля» — если крепи в шахтах начинали трещать или издавать иные по характеру звуки (акустика), всех рабочих просили покинуть шахту и выйти на поверхность [2]. С подобным эффектом сталкивались многие — после наклейки обоев в течение некоторого времени можно слышать «потрескивания» за счет частичного нарушения адгезионной прочности в системе «бетонная стена — клей — бумага», вследствие возникающих внутренних напряжений и усадочных процессов при высыхании клея. В связи с этим установка на деревянных конструкциях чувствительных микрофонов (размерами с почтовую марку), напечатанных на бумаге методом струйной печати может предупредить об опасности при нагружении конструкций из древесных композитов в CLT-панелях и иных «крепей». Такие устройства с использованием углеродных нанотрубок (УНТ) демонстрируют исключительную гибкость и долговечность, сохраняя высокие акустические характеристики на слышимых человеком частотах до (20 кГц) при незначительной механической де-

формации. Эти подходы корейских ученых [19] решают несколько задач одновременно. Естественная структура бумаги создает основу для УНТ с микропространствами, которая позволяет трубкам переплетаться с волокнами с образованием прочных механических связей, сохраняющих электрические соединения при экстремальных изгибах-деформациях. Простота изготовления акустических устройств, масштабируемость и дешевизна могут быть причиной их широкого использования в качестве идеальных контроллеров долговечности и прочностных характеристик древесно-клеевых конструкций, используемых в высотном деревянном домостроении. Эти разработки [19, 27] демонстрируют и новые возможности в области мониторинга прочности различных конструкций при нагружении за счет беспрецедентного сочетания чувствительности и диапазона, что позволяет обнаруживать незначительные изменения деформации с большим диапазоном охвата, чем позволяли прежние технологии.

С другой стороны, сотрудники Университета Райса и Кувейтского института научных исследований [20] обнаружили, что объемный портланд-цемент содержит микроскопические кристаллы кремния, которые излучают флуоресценцию в ближнем инфракрасном диапазоне при освещении видимым светом. Это позволило судить о микротрещинах в напряженных цементных (и не только) блоках. Появилась возможность оценки растрескивания твердых тел в конструкциях до разрастания в них микротрещин и последующего разрушения, что особо важно при использовании гибридных конструкций в строительстве высоток из древесных композитов. Сбор данных с различного рода сенсоров (датчиков), акустических и иных устройств позволит проводить мониторинг физико-механических и иных характеристик сложных строительных конструкций, используемых в деревянных высотных сооружениях. Успешным оказался и подход К.В. Романевич [21] по разработке критериев и методики процессов по электромагнитному излучению (ЭМИ) в радиодиапазоне при механическом воздействии на диэлектрические материалы, которые в итоге привели к возможности суждения по измерению ЭМИ о возникновении потенциально опасных зон — предвестников будущего разрушения материалов.

Если все изложенное выше подтвердит сохранение высоких свойств (прочностных) древесных конструкций и их долговечность, то откроется широкая дорога к строительству небоскребов из древесины и материалов на ее основе.

Выводы

Рассмотрены перспективы строительства уникальных зданий и сооружений из древесно-клеевых композитов. На основе анализа проблемы показано, что при тщательном мониторинге поведения указанных материалов во времени, можно рекомендовать их использование в высотном домостроении в Российской Федерации.

Список литературы

- [1] 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
- [2] Гаврилов Н.И. Справочная книга «Фабрики, заводы и рудники» Екатеринославской губернии. Екатеринослав: Товарищество «Печатня С.П. Яковлева», 1903. 402 с.
- [3] Фишман Р. Деревянные небоскребы // Популярная механика, 2016. С. 30–32.
- [4] Евдокимов Ю.М. Адгезия. От микро- и макроуровня к нанотехнологиям. М.: МГУЛ, 2011. 208 с.
- [5] Bar Cohen Y. (ed.) Biomimetics Biologically inspired Technological // Taylor and Francis CRC Press, 2007, 269 p.
- [6] Евдокимов Ю.М., Фиговский О.Ф. Развитие исследований генерирования электромагнитных излучений при нарушении адгезионного контакта (обзор) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 147–158. DOI: 10/18698/2542-1468-2023-4-147-158
- [7] Патури Ф. Растения — гениальные инженеры природы. М.: Прогресс, 1982. 272 с.
- [8] Чубинский А.И. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1992. 164 с.
- [9] Лебедев Ю.С. (ред.) Архитектурная бионика. М.: Стройиздат, 1990. 269 с.
- [10] Evdokimov Yu.M., Fedorov M.C. Methods of Adhesiometry of Adhesive Bonds // Polymer Science, Series D, Glues and Sealing Materials, v. 5, no. 8, pp. 1–6.
- [11] Маевская М.Е. Деревянные небоскребы. Традиционные материалы в инновационных технологиях современного высотного строительства // Современная архитектура мира, 2018. № 11. С. 125–151.
- [12] Harris R. Cross laminated timber // Wood Composites. Cambridge. UK: Woodhead Publishing, 2015, pp. 141–167.
- [13] Bernasconi A. Four residential towers as CLT timber construction in the city of Milan // World Conference on Timber Engineering, 2016, pp. 5771–5778.
- [14] Потапова Т.В. Усиление CLT-панелей композитными материалами // Инженерный вестник Дона, 2023. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/p7y2023/8572 (дата обращения 15.10.2024)
- [15] De Araujo V., Christoforo A. The global cross-laminated timber (CLT) industry: a systematic review and a sectoral survey of its main developer // Sustainability, 2023, v. 15 (10), pp. 7827–7854. DOI:10.3390/su15107827
- [16] Есауленко И.В. Перспективы развития высотного деревянного домостроения в России на примере зарубежного опыта // Архитектура, строительство транспорт, 2021. № 4. С. 17–25. DOI:10.31660/2782-232X-2021-4-17-25
- [17] Ekundayo G., Gong H., Abeykoon C. Jute Fibre Reinforced Polymer Composites in Structural Applications // J. of Materials and Polymer Science: A Review, 2024, v. 4(2), pp. 1–13. DOI:https://doi.org/10.47485/2832-9384.1055
- [18] Needham J., Wang L. Science and Civilization in China. Cambridge University Press, 1965, v. 4, part 2, 506 p.
- [19] Hyungyu I., Eunhwan J. Versatile Foldable Inkjet-Printed Thermoacoustic Loudspeaker on Paper // Advanced Functional Materials, 2024, v. 34, iss. 48, p. 2415218. DOI:10.1002/adfm.202415218
- [20] Keim N.C., Medina D. Mechanical annealing and memories in a disordered solid // Science advanced, 2022, v. 8, iss. 40, eabo 1614. DOI:10.1126/sciadv.abo1614
- [21] Романевич К.В. Разработка критериев и методики идентификации геодинамических процессов по электромагнитному излучению вблизи выработок неглубокого заложения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, ТГУ, 2015. 23.
- [22] Бойтемирова И.Н., Любакова Д.А. Многоэтажные деревянные здания // Вестник научных конференций, 2016. № 2–1(6). С. 19–20.
- [23] Небоскребы строятся из дерева // Строительство, 2020. № 6. С. 55–58. URL: https://anch.ru/files/pdf/pc/Otraslevoy_zhurnal_Stroitelstvo_-_2020_god_06_2020_pc.pdf (дата обращения 02.11.2024).
- [24] Andrei M. The world's tallest timber building opens in Canada – ahead of schedule. The towering Brock Commons is the world's biggest structure made from wood // ZME Science, 2016, August 30. URL: www.zmescience.com (дата обращения 12.11.2024).
- [25] Modern tall wood buildings: opportunities for innovation: report / Prepared by Doventail Partners/ Inc. Dr. Jim Bowuer, Dr. Stewve Bratkovich, Dr. Jleft Howe. Minneapolis, USA, 2015, 16 p.
- [26] Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Строительные материалы. СПб.: ЦИПК, 2013. 400 с.
- [27] Бардин И.Н. Конструктивные системы многоэтажных деревянных зданий // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых, Архангельск, 15–22 апреля 2017 г. М.: САФУ, 2017. С. 179–184.
- [28] Заиков З.Е. Почему стареют полимеры // Соросовский образовательный журнал, 2000. Т. 6. № 12. С. 48–55.
- [29] Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство. М.: ВНИИПО, 1994. 50 с.
- [30] Kozlowski R., Malgorzata M. Smart environmentally friendly composite coating for wood protection // Smart Composite Coatings and Membranes, 2016, pp. 293–325. DOI:10.1016/B978-1-78242-283-9.00011-7
- [31] Михалева С.А. Деревянные высотки в России – инновационный взгляд на современное строительство // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. № 4–7(46). С. 19021.
- [32] Ковальчук Л.М., Никулихина Р.В. Деревянные клееные конструкции в строительстве // Клеи. Герметики. Технологии, 2007. № 3. С. 35–40.

- [33] Ломакин А.Д. Защита большепролетных несущих клееных деревянных конструкций // Строительные материалы, 2015. № 7. С. 55–59.
- [34] Дроздов В.А., Беличенко М.Ю. Строительство многоэтажных зданий на основе древесины // Архитектура. Строительство, землеустройство и кадастры на Дальнем Востоке в XXI веке: матер. междунар. научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 20–21 апреля 2016 г. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2016. С. 76–80.
- [35] Ширманов В.В. Строительство экологически безопасных, энергоэффективных, быстровозводимых деревянных зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2014. № 8 (187). С. 38–40.
- [36] Поваренко Д.Л., Поваренко Н.Д. Проблемы и перспективы многоэтажного деревянного строительства // Alfabuild, 2017. № 1 (1). С. 121–129.

Сведения об авторах

Евдокимов Юрий Михайлович — канд. хим. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (АГПС МЧС России), evdokur@mail.ru

Диалектова Татьяна Павловна — ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (АГПС МЧС России), tdialektova@yandex.ru

Прохоров Виктор Юрьевич — канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» (АГПС МЧС России), Prohorovv@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.11.2024.

Одобрено после рецензирования 20.12.2024.

Принята к публикации 08.04.2025.

BACK TO THE FUTURE OR RETURNING TO WOODEN SKYSCRAPERS

Yu.M. Evdokimov, T.P. Dialektova, V.Yu. Prohorov

State Fire Academy of EMERCOIM of Russia, 4, Boris Galushkin st., 129366, Moscow, Russia

evdokur@mail.ru

The issue of designing and building unique structures made of wood is considered. The article highlights the domestic and international practices in the construction of unique structures and high-rise residential buildings made of wood and materials based on it (glued wood, wood composites, including CLT-panels, reinforced fibers and lamellas based on carbon, basalt and linen fibers, graphene films, etc). It is concluded that further study of this issue is necessary considering the properties of various wood composites, wood species, the nature of the adhesives from which they are made, strength monitoring data and other indicators of erected structures for a long time.

Keywords: wood, glued wood, composites, adhesion, skyscrapers, CLT-panels

Suggested citation: Evdokimov Yu.M., Dialektova T.P., Prokhorov V.Yu. *Nazad v budushchee ili vozvrashchayas' k derevyannym neboskrebam* [Back to the future or returning to wooden skyscrapers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 4, pp. 114–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-4-114-125

References

- [1] 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
- [2] Gavrilov N.I. *Spravochnaya kniga «Fabriki, zavody i rudniki» Ekaterinoslavskoy gubernii* [Reference book «Factories, Plants and Mines» of the Yekaterinoslav Province]. Yekaterinoslav: Partnership «Pechatnya S.P. Yakovlev», 1903, 402 p.
- [3] Fishman R. *Derevyannye neboskreby* [Wooden Skyscrapers]. *Populyarnaya mekhanika* [Popular Mechanics], 2016, pp. 30–32.
- [4] Evdokimov Yu.M., Adgeziya. *Ot mikro- i makrourovnya k nanotekhnologiyam* [Adhesion. From micro- and macrolevel to nanotechnology]. Moscow: MSFU, 2011, 208 p.
- [5] Bar Cohen Y. (ed.) *Biomimetics Biologically inspired Technological*. Taylor and Francis CRC Press, 2007, 269 p.

- [6] Evdokimov Yu.M., Figovskiy O.F. *Razvitie issledovaniy generirovaniya elektromagnitnykh izlucheni pri narushenii adgezionnogo kontakta (obzor)* [Research development by generation of electromagnetic radiation under adhesion contact breach (review)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 147–158. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-147-158
- [7] Paturi F. *Rasteniya — genial'nye inzheneriy prirody* [Plants are nature's ingenious engineers]. Moscow: Progress, 1982, 272 p.
- [8] Chubinskiy A.I. *Formirovanie kleevykh soedineniy drevesiny* [Formation of adhesive joints in wood]. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 1992, 164 p.
- [9] *Arkhitekturnaya bionika* [Architectural bionics]. Ed. Yu.S. Lebedev. Moscow: Stroyizdat, 1990, 269 p.
- [10] Evdokimov Yu.M., Fedorov M.C. Methods of Adhesiometry of Adhesive Bonds. *Polymer Science, Series D, Glues and Sealing Materials*, v. 5, no. 8, pp. 1–6.
- [11] Maevskaya M.E. *Derevyannyye neboskreby. Traditsionnye materialy v innovatsionnykh tekhnologiyakh sovremennogo vysotnogo stroitel'stva* [Wooden skyscrapers. Traditional materials in innovative technologies of modern high-rise construction]. *Sovremennaya arkhitektura mira* [Modern architecture of the world], 2018, no. 11, pp. 125–151.
- [12] Harris R. Cross laminated timber. *Wood Composites*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2015, pp. 141–167.
- [13] Bernasconi A. Four residential towers as CLT timber construction in the city of Milan. *World Conference on Timber Engineering*, 2016, pp. 5771–5778.
- [14] Potapova T.V. *Usilenie CLT-paneley kompozitnymi materialami* [Strengthening CLT panels with composite materials]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2023, no. 7. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8572 (accessed 15.10.2024).
- [15] De Araujo V., Christoforo A. The global cross-laminated timber (CLT) industry: a systematic review and a sectoral survey of its main developer. *Sustainability*, 2023, v. 15 (10), pp. 7827–7854. DOI:10.3390/su15107827
- [16] Esaulenko I.V. *Perspektivy razvitiya vysotnogo derevyannogo domostroeniya v Rossii na primere zarubezhnogo opyta* [Prospects for the Development of High-Rise Wooden Housing Construction in Russia Based on Foreign Experience]. *Arkhitektura, stroitel'stvo transport* [Architecture, Construction, Transport], 2021, no. 4, pp. 17–25. DOI: 10.31'660/2782-232X-2021-4-17-25
- [17] Ekundayo G., Gong H., Abeykoon C. Jute Fibre Reinforced Polymer Composites in Structural Applications. *J. of Materials and Polymer Science: A Review*, 2024, v. 4(2), pp. 1–13. DOI:<https://doi.org/10.47485/2832-9384.1055>
- [18] Needham J., Wang L. *Science and Civilization in China*. Cambridge University Press, 1965, v. 4, part 2, 506 p.
- [19] Hyungyu I., Eunhwan J. Versatile Foldable Inkjet-Printed Thermoacoustic Loudspeaker on Paper. *Advanced Functional Materials*, 2024, v. 34, iss. 48, p. 2415218. DOI:10.1002/adfm.202415218
- [20] Keim N.C., Medina D. Mechanical annealing and memories in a disordered solid. *Science advanced*, 2022, v. 8, iss. 40, eabo 1614. DOI:10.1126/sciadv.abo1614
- [21] Romanevich K.V. *Razrabotka kriteriev i metodiki identifikatsii geodinamicheskikh protsessov po elektromagnitnomu izlucheniyu vblizi vyrabotok neglubokogo zalozheniya* [Development of criteria and methods for identifying geodynamic processes based on electromagnetic radiation near shallow workings]. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Tomsk, TSU, 2015, 23.
- [22] Boytemirova I.N., Lyubakova D.A. *Mnogoetazhnye derevyannye zdaniya* [Multi-storey wooden buildings]. *Vestnik nauchnykh konferentsiy* [Bulletin of scientific conferences], 2016, no. 2–1(6), pp. 19–20.
- [23] Neboskreby stroyatsya iz dereva [Skyscrapers are built of wood]. *Stroitel'stvo* [Construction], 2020, no. 6, pp. 55–58. Available at: https://ancb.ru/files/pdf/pc/Otraslevoy_zhurnal_Stroitelstvo_-_2020_god_06_2020_pc.pdf (accessed 02.11.2024).
- [24] Andrei M. The world's tallest timber building opens in Canada – ahead of schedule. The towering Brock Commons is the world's biggest structure made from wood. *ZME Science*, 2016, August 30. Available at: www.zmescience.com (accessed 12.11.2024).
- [25] *Moderen tall woodbuildings: opportunites for innovation: report* / Prepared by Doventail Partners/ Inc. Dr. Jim Bowuer, Dr. Stewve Bratkovich, Dr. Jeft Howe. Minneapolis, USA, 2015, 16 p.
- [26] Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. St. Petersburg: TsIPK, 2013, 400 p.
- [27] Bardin I.N. *Konstruktivnye sistemy mnogoetazhnykh derevyannykh zdaniy* [Structural systems of multi-storey wooden buildings]. *Lomonosovskie nauchnye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Lomonosov scientific readings of students, postgraduates and young scientists], Arkhangelsk, April 15-22, 2017. Moscow: Northern (Arctic) Federal University, 2017, pp. 179–184.
- [28] Zaikov Z.E. *Pochemu stareyut polimery* [Why polymers age]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros Educational J.], 2000, v. 6, no. 12, pp. 48–55.
- [29] *Sposoby i sredstva ognezashchity drevesiny. Rukovodstvo* [Methods and means of fire protection of wood. Guide]. Moscow: VNIPO, 1994, 50 p.
- [30] Kozlowski R., Malgorzata M. Smart environmentally friendly composite coating for wood protection. *Smart Composite Coatings and Membranes*, 2016, pp. 293–325. DOI:10.1016/B978-1-78242-283-9.00011-7
- [31] Mikhaleva S.A. *Derevyannye vysotki v Rossii – innovatsionnyy vzglyad na sovremennoe stroitel'stvo* [Wooden high-rises in Russia – an innovative look at modern construction]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, [International Research J.], 2016, no. 4–7(46), p. 19021.
- [32] Koval'chuk L.M., Nikulikhina R.V. *Derevyannye kleeenye konstruksii v stroitel'stve* [Glued laminated timber structures in construction]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2007, no. 3, pp. 35–40.
- [33] Lomakin A.D. *Zashchita bol'sheproletnykh nesushchikh kleeenyykh derevyannykh konstruksiy* [Protection of large-span load-bearing glued laminated timber structures]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2015, no. 7, pp. 55–59.

- [34] Drozdov V.A., Belichenko M.Yu. *Stroitel'stvo mnogoetazhnykh edaniy na osnove drevesiny* [Construction of multi-storey buildings based on wood]. *Arkhitectura. Stroitel'stvo, zemleustroystvo i kadastry na Dal'nem Vostoke v KhKhI veke* [Architecture. Construction, land management and cadastres in the Far East in the 21st century]. Proc. int. scientific and practical conference, Komsomolsk-on-Amur, April 20–21, 2016. Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-on-Amur State Technical University, 2016, pp. 76–80.
- [35] Shirmanov V.V. *Stroitel'stvo ekologicheski bezopasnykh, energoeffektivnykh, bystrovozvodimykh derevyannykh zdaniy* [Construction of environmentally friendly, energy-efficient, quickly erected wooden buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii KhKhI veka* [Construction materials, equipment, technologies of the 21st century], 2014, no. 8 (187), pp. 38–40.
- [36] Povarenko D.L., Povarenko N.D. *Problemy i perspektivy mnogoetazhnogo derevyannogo stroitel'stva* [Problems and prospects of multi-storey wooden construction]. *Alfabuild*, 2017, no. 1 (1), pp. 121–129.

Author's information

Evdokimov Yuriy Mikhaylovich — Cand. Sci. (Chem.), Professor of the State Fire Academy of EMERCOM, evdokur@mail.ru

Dialektova Tat'yana Pavlovna — Senior Lecturer of the State Fire Academy of EMERCOM, tdialektova@yandex.ru

Prohorov Viktor Yur'evich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the State of Fire Academy of EMERCOM, Prohorovv@yandex.ru

Received 01.11.2024.

Approved after review 20.12.2024.

Accepted for publication 08.04.2025.