

**Для цитирования:** А.Ф. Рожков, А.А. Лавров, И.В. Пикулева, Д.А. Поливанов. Обеспечение пространственной жесткости многоэтажного каркасного здания на основе древесины. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (4):151-161. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-151-161  
**For citation:** A.F. Rozhkov, A. A. Lavrov, I.V. Pikuleva, D.A. Polivanov. Providing the spatial rigidity of a multi-story wood-based frame building. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(4):151-161. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-151-161

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-4-151-161

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

**А.Ф. Рожков, А.А. Лавров, И.В. Пикулева, Д.А. Поливанов**

Сибирский федеральный университет, Инженерно-строительный институт,  
660041, г. Красноярск, проспект Свободный, 79, Россия

**Резюме. Цель.** В статье рассматривается проблема обеспечения жесткости каркасного деревянного многоэтажного здания и способы достижения необходимой пространственной жесткости с учетом требований сохранения внутреннего объема и свободного пространства. В целях повышения экономической эффективности проекта предусмотрен случай избытка пространственной жесткости и меры ее оптимизации. **Метод.** Более простым и менее трудоемким методом является первоначальная оценка площади сечения жесткостных элементов, которые будут воспринимать ветровую нагрузку. Авторами предложен способ предварительного вычисления жесткости здания с последующей корректировкой в расчетной схеме. **Результат.** Составлена расчетная схема каркаса здания в программном комплексе Scad Office с целью учета влияния собственного веса конструкций, перераспределения усилий и перемещений за счет пространственной работы каркаса, с последующей корректировкой сечений жесткостных элементов. **Вывод.** Наиболее рациональным и наименее трудоемким методом численного расчета жесткости является первоначальная оценка площади сечения системы жесткостных элементов. С его помощью возможно избежать избытка пространственной жесткости здания и сократить время и трудозатраты на подбор и выбор места расположения жесткостных элементов.

**Ключевые слова:** пространственная жесткость, каркасное деревянное домостроение, CLT-технология, система жесткостных элементов, конструктивная схема здания, ствольная система

### PROVIDING THE SPATIAL RIGIDITY OF A MULTI-STORY WOOD-BASED FRAME BUILDING

**A.F. Rozhkov, A. A. Lavrov, I.V. Pikuleva, D.A. Polivanov**

Siberian Federal University, Civil Engineering Institute,  
79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia

**Abstract. Objective.** The article deals with the problem of ensuring the rigidity of a frame wooden multi-story building and ways to achieve the necessary spatial rigidity, taking into account the requirements of preserving the internal volume and free space. The case of excess spatial rigidity and measures to optimize it are provided to increase the economic efficiency of the project. **Methods.** A simpler and less time-consuming method is the initial estimation of the cross-sectional area of the rigid elements that take the wind load. The authors propose a method for the preliminary calculation of building stiffness with subsequent adjustment in the calculation scheme. **Results.** The design scheme of

the building frame is made in the Scad Office software package to take into account the influence of the own structure weight, the redistribution of forces and movements due to the spatial work of the frame, with subsequent adjustment of the cross-sections of rigid elements. **Conclusion.** The most rational and least time-consuming method for numerical calculation of stiffness is the initial estimation of the cross-sectional area of the system of rigid elements. With its help, it is possible to avoid an excess of spatial rigidity of the building and reduce the time and labor costs for selecting the location of rigid elements.

**Key words:** spatial rigidity, frame wooden housing construction, CLT technology, system of rigid elements, building structural scheme, trunk system

**Введение.** В настоящий момент деревянное многоэтажное домостроение постепенно теснит другие виды многоэтажного строительства. Данный факт легко объясним относительной доступностью проектов, экологичностью сырья и альтернативой ограниченности в создании различных архитектурных и конструктивных форм, а также стойкостью к сейсмическим воздействиям. Наглядным подтверждением последнего выступает 7-этажное здание, изготовленное по каркасной технологии, протестированное на современном сейсмологическом оборудовании. В результате эксперимента строение восприняло 14 сейсмических толчков магнитудой 7,5 баллов без критических повреждений конструкций [1, 2].

**Постановка задачи.** Появление новых композитных материалов на основе древесины и высокотехнологичных систем, преимущественно комбинированных, простимулировало возрождение деревянного строительства. Одним из основных внешних мотивирующих факторов, наиболее привлекающих внимание к изделиям на основе древесины в жилищном строительстве, является господдержка рынка деревянного домостроения, мерами рассмотрения и утверждения законопроектов о финансовой поддержке, льготных ипотечных программ [3, 4]. Таким образом, в настоящее время появляется и набирает обороты направление популяризации культуры жизни и строительства финансируемых проектов в городской среде с применением древесины в качестве основного материала. За последние 10 лет уже появилось множество успешных проектов высотных зданий на основе древесины. «Stadthaus» (рис. 1) – одно из первых многоэтажных строений, в котором CLT-элементы используются как основной конструктивный материал [5, 6].



Рис.1. Девятиэтажный «Stadthaus» в Лондоне (2008 год)

Fig.1. Nine-story "Stadthaus" in London (2008)

«Life Cycle Tower ONE» (рис. 2) является представителем деревянного комбинированного строительства – здание высотой в 8 этажей с железобетонными фундаментом и центральным ядром жесткости, деревянными клееными колоннами и композитными плитами пролетом 9 метров [5]. Древесина плит горизонтальных перекрытий покрыта бетонным слоем по верхней поверхности и боковым краям и выходит наружу только на нижних поверхностях, образующих потолок [7, 8]. Таким образом, основная структура модулей здания спроектирована из дерева, а бетон и сталь использованы в качестве усиления всей конструкции.



**Рис. 2. Деревянное модульное здание «Life Cycle Tower ONE» в Дорнбирне (Австрия)**  
**Fig. 2. Wooden modular building "Life Cycle Tower ONE" in Dornbirn (Austria)**

«TREET» – современное 14-этажное деревянное строение, высотой 45 метров относительно уровня бетонного основания, уникальной особенностью которого является включение железобетонных «силовых этажей» после каждых четырех этажей из древесины (рис. 3) [5, 9, 10]. Вертикальную нагрузку воспринимают клееные деревянные вертикальные фермы, а из CLT-панелей выполнены лестницы, лестничные и лифтовые шахты, стены и перекрытия.



**Рис. 3. «Treet» 14-этажное деревянное здание в Бергене (Норвегия)**  
**Fig. 3. «Treet» 14-storey wooden building in Bergen (Norway)**

Проект 6-этажного здания, высотой 27,5 метров инновационного центра проектирования на основе древесины в Британской Колумбии полностью выполнен из древесины. Конструктивное решение заключается в использовании полносборных деревянных элементов и исключении использования бетона выше фундамента [5, 11]. Проект самого высокого деревянного офисного здания в Северной Америке призван акцентировать внимания на преимуществах древесины как экологически чистого, доступного во всем мире строительного материала, демонстрируя эстетические и конструктивные возможности многоэтажного строительства из древесины.



**Рис.4. 29,5-метровое офисное здание в городе Принс-Джордж в провинции Британская Колумбия**  
**Fig.4. 29.5-meter office building in Prince George, British Columbia**

Однако самым высоким деревянным зданием в мире стало 18-этажное здание общежития Канадского университета Британской Колумбии «Brock Commons», высота которого составляет 53 метра (рис.5). Каркас здания составляют 16 панелей перекрытия, выполненных по CLT-технологии, точно-опирающихся на клееные колонны, а также два железобетонных жестких ствола, воспринимающие ветровые и сейсмические воздействия и обеспечиваю-

щие устойчивость строения [12-14]. Замысел проекта студенческого общежития заключается в создании массового деревянного строительства, стоимость которого будет наравне с себестоимостью железобетонной высотки в условиях точечной застройки. «Brock Commons» является наглядным доказательством целесообразности деревянного домостроения на рынке высотного строительства.



**Рис.5. 53-метровое здание студенческого общежития Канадского университета Британской Колумбии «Brock Commons»**

**Fig.5. The 53-meter building of the student residence of the Canadian University of British Columbia "Brock Commons"**

**Методы исследования.** При проектировании многоэтажных зданий на основе древесины следует соблюдать соответствие множеству условий эффективности и безопасности, таких как: обеспечение долговечности здания мерами согласования конструктивного и технологического аспектов проекта с целью исключения возможности увлажнения и перегрева деревянных конструкций, восприимчивых к воздействию температурно-влажностных факторов; обеспечение пространственной жесткости и устойчивости конструкций, мерами устройства и постановки соответствующих жесткостных систем/элементов, с учетом технико-экономической оценки эффективности и рациональности конструктивного решения.

Вопрос классификации систем многоэтажного каркасного деревянного строительства неоднократно становился предметом научно-прикладных исследований. Вариации технологий каркасного строительства на основе древесины разнятся в зависимости от материала основы каркаса.

Первый вариант – это деревянный каркас, состоящий исключительно из деревянных элементов. Каркас дома выполнен из деревянных балок, изготовленных из клееного бруса, способного противостоять биологическим процессам, установленных под разными углами между колоннами связей, придающих каркасу, а, соответственно, и всему строению дополнительную жесткость. Важным нюансом каркасного дома выступает отсутствие металлических элементов крепления, все стыковки бруса и связей выполняются деревянными шкантами и нагелями [15].

Второй вариант – это металло-деревянный каркас, рабочим элементом которого является металлический термопрофиль [16]. Такой вариации деревянного каркасного домостроения характерен высокий показатель сейсмостойкости: каркас способен сохранять первоначальную геометрическую форму при действии силы землетрясений с магнитудой до 9 баллов по шкале Рихтера благодаря малому весу конструктивных элементов, упругим свойствам каркаса, которые обеспечиваются болтовыми узловыми соединениями и симбиотической работой металла и дерева [17]. Однако, данная конструкция обладает большой металлоемкостью и сложностью узловой сборки. Пространственная жесткость металло-деревянного каркаса обеспечивается надежными узловыми соединениями, металлическими элементами жесткости, целостной конструкцией панели и соединением панелей, и металлических рам металлическими элементами. Современным и наиболее прогрессирующим представителем бескаркасной панельной технологии строительства на основе древесины является «CLT-технология». Бесспорное преимущество данной инновации заключается в возможности использования CLT-плит в мало- и многоэтажном, большепролетном строительстве, такие панели активно используются во многих европейских странах.

Безусадочность и непромерзаемость изделий, высокая межэтажная звукоизоляция до-

полняют жесткость CLT-панелей, создающую эффективную систему сопротивления сейсмическим воздействиям [18,19]. Пространственная жесткость каркаса обеспечивается многослойной структурой панелей, продольная и поперечная – вертикальным и горизонтальными ламелями плиты и жестким соединением колонн и балок с помощью стальных коннекторов. К тому же, CLT-элементы обладают возможностью перераспределять напряжения от касательных нагрузок при распространении сквозных трещин в панели до момента возникновения критического состояния элемента [20-22].

В зависимости от способа обеспечения пространственной жесткости здания можно выделить 3 конструктивные схемы: рамную, связевую, рамно-связевую.

В рамной схеме устойчивость и прочность пространственной системы создается жестким защемлением ригеля с колонной – рамным узлом. Рамная система каркасных зданий обеспечивает надежность в восприятии нагрузок и равномерность деформаций рам, расположенных в здании, в продольном и поперечном направлениях, а также система создает максимальную свободу планировочных решений.

При гибком соединении ригеля с колонной узел является шарнирным, а каркас - связевым. В связевой схеме устойчивость обеспечивается симбиотической работой вертикальных и горизонтальных связей и диафрагм жесткости, воспринимающих усилия от горизонтальной нагрузки. В рамно-связевой каркасной системе вертикальные и горизонтальные нагрузки совместно воспринимают вертикальные диафрагмы жесткости и рамный каркас. За счет этой комбинации достигаются минимальные перемещения конструкции здания [23].

В случае, когда каркасной жесткости недостаточно, возможно комбинированное решение, которое представляет собой комбинацию конструктивных приемов обеспечения жесткости стеновой и ствольной систем. Вследствие этого, составная конструктивная система обладает наибольшей конструктивной гибкостью в части возможности распределения воспринимаемых усилий за счет варьирования жесткости элементов основы каркаса. Существует проблема обеспечения жесткости многостержневого каркаса, решением которой служит поиск наиболее эффективной, экономически рациональной конструктивной схемы здания. При проектировании каркаса необходимо учитывать условие обеспечения целостности объемно-пространственной структуры здания, путем сохранения единства внешнего и внутреннего объемов.

Следовательно, необходимо отказаться от связевых систем, во избежание загромождения внутреннего пространства строения, так как наклонные связевые элементы способны уменьшить внутренний объем здания, а, следовательно, и ограничить в свободной композиции интерьера, разнообразности архитектурного решения и планировки здания [18]. Но вопрос нахождения средства обеспечения геометрической неизменяемости конструкции остается открытым.

**Обсуждение результатов.** Рассмотрим вариант включения в работу по обеспечению пространственной жесткости каркаса многоэтажного здания ствольной системы, вертикальным несущим элементом которой является внутренний ствол, образуемый стенами лестничной клетки и лифтовой шахты. Целесообразность применения ядра жесткости в каркасном здании обуславливается дифференциацией статических функций между каркасом, воспринимающим вертикальные воздействия, и стволом, воспринимающим горизонтальные нагрузки; стойкостью восприятия сейсмических воздействий; свободой планировочных решений, поскольку пространство между стволом и наружными ограждающими конструкциями свободно от опор. Стены лестничной клетки и лифтовой шахты выполняются из массивных деревянных элементов, изготовленных по CLT-технологии. Выбор перекрестно-клееных CLT-панелей обусловлен высокой стоимостью, легким весом конструкции и стабильной статической прочностью панелей во всех направлениях [18, 24]. Стены ядра жесткости должны соответствовать требованиям пожарной безопасности. Условие обладания требуемой огнестойкостью выполняется за счет установки массивных элементов диафрагм жесткости, пропитанных антиперенами и обшитых негорючими материалами.

Горизонтальная жесткость конструкции может достигаться введением жестких плоско-

стей – диафрагм жесткости, которые располагаются в плоскости рам каркаса и воспринимают крутящие усилия. Каркасно-ствольная система аналогична каркасно-диафрагмовой, основанной на разделении статических функций между стеновыми и стержневыми элементами несущих конструкций. На вертикальные диафрагмы жесткости передается вся или большая часть горизонтальных нагрузок и воздействий, на стержневые элементы каркаса – преимущественно вертикальные нагрузки. А также с вводом жесткостных элементов в виде диафрагм жесткости возможно применение узловых элементов ригелей и колонн, простых в изготовлении и монтаже. Диафрагмы жесткости наиболее выгодно выполнить из CLT-панелей.

Способ достижения необходимой пространственной жесткости. Наряду с недостатком жесткости и поиском способов по достижению необходимой пространственной жесткости существуют случаи ее избытка, что влечет за собой уменьшение внутреннего пространства и объема здания, перерасход материала, а, следовательно, и снижение экономической эффективности проекта. Для предупреждения и предотвращения излишка пространственной жесткости каркаса здания необходима ее оптимизация путем численного расчета, который, в свою очередь, будет универсален для различных конструктивных систем.

Более простым и менее трудоемким методом является первоначальная оценка площади сечения жесткостных элементов, которые будут воспринимать ветровую нагрузку. Выбор в пользу данного метода подбора пространственной жесткости здания обуславливается тем, что создание расчетной схемы здания в программных комплексах без предварительного учета конструктивных и архитектурных требований по размещению жесткостных элементов, а также без учета их предварительных сечений, представляется весьма времезатратным и трудоемким. С целью оптимизации времени подбора сечений жесткостных элементов предложен упрощенный вариант расчета.

Перейдем, непосредственно, к предлагаемому методу подбора жесткости здания. В качестве примера приведен расчёт на восприятие ветровой нагрузки проектируемым 6-этажным деревянным зданием. Проектируемое строение в плане имеет сложную форму, с размерами в осях 13,5×18 метров с шагом колонн 4,5 метров. Климатические характеристики приняты относительно климатического района города Красноярска.

За основу была взята формула по расчету крена  $k$ -ой диафрагмы [25]:

$$f_k = \frac{4 \cdot a + 11}{120 \cdot E \cdot I} \cdot q \cdot H^4 + \frac{H^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot M'_k, \quad (1)$$

где  $a$  – отношение интенсивностей горизонтальных нагрузок внизу и вверху здания для рассматриваемой внешней нагрузки;

$q$  – нагрузка, приходящая на верх диафрагмы;

$E$  – модуль упругости материала;

$I$  – момент инерции сечения;

$H$  – высота здания;

$M'_k$  – момент в верхнем сечении.

Формулу (1) необходимо упростить. Так как момент в верхнем сечении равен нулю, то в правой части зануляется одно слагаемое и выражается момент инерции [25]:

$$I_{req} = \frac{4 \cdot a + 11}{120 \cdot E \cdot f_k} \cdot q \cdot H^4, \quad (2)$$

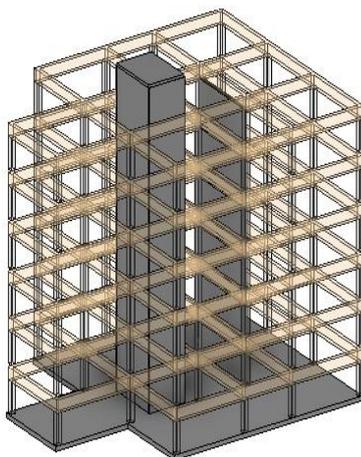
Далее с учетом геометрических параметров здания необходимо собрать ветровую нагрузку, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Величина максимального допустимого крена здания определяется в соответствии с требованиями существующего нормативного документа по формуле:

$$f_u = \frac{h}{500}, \quad (3)$$

где  $h$  – высота многоэтажного здания, равная расстоянию от верха фундамента до оси ригеля покрытия.

Следовательно, максимальный допустимый прогиб здания  $f_u$ , высотой 16,8 м в верхней точке, имеет величину 33,6 мм. Учитывая эстетические требования и условие сохранения внутреннего объема и пространства, располагаем в плане жесткостные элементы, а именно лифтовой узел и диафрагму жесткости (рис.6). Следующим шагом необходимо определить требуемый момент инерции здания  $I_{req}$ .



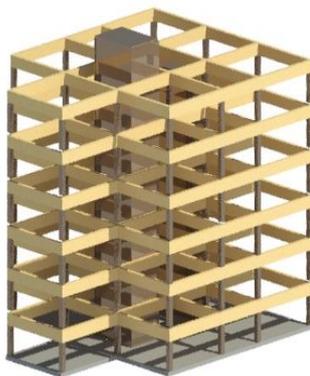
**Рис.6. Схема расположения жесткостных элементов**  
**Fig.6. Layout of stiffening elements**

Учитывая принятые архитектурные и конструктивные решения, вычисляем момент инерции здания фактический  $I_f$  и сравниваем с моментом инерции требуемым  $I_{req}$ . Если условие выполняется, то постановка дополнительных диафрагм жесткости не требуется. В противном случае, необходимо увеличить жесткостные характеристики здания.

В нашем случае условие выполняется, и введение дополнительных диафрагм жесткости не требуется. Следовательно, утверждаем данное расположение жесткостных элементов (рис.7 и 8).

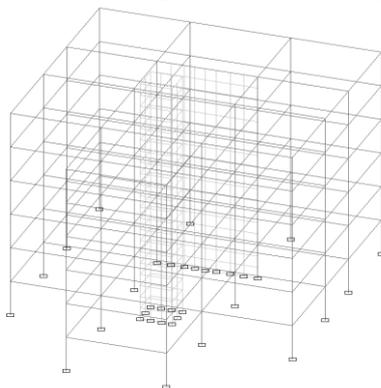


**Рис.7. Итоговый вид конструкции здания с перекрытиями**  
**Fig.7. The final view of the structure of the building with floors**



**Рис. 8. Конструкции, воспринимающие горизонтальные усилия**  
**Fig. 8. Structures that accept horizontal forces**

Далее создаем расчетную схему каркаса здания в программном комплексе Scad Office, с целью учета влияния собственного веса конструкций, перераспределения усилий и перемещений за счет пространственной работы каркаса, с последующей корректировкой сечений жестких элементов. Расчетная схема здания представлена на рис. 9.

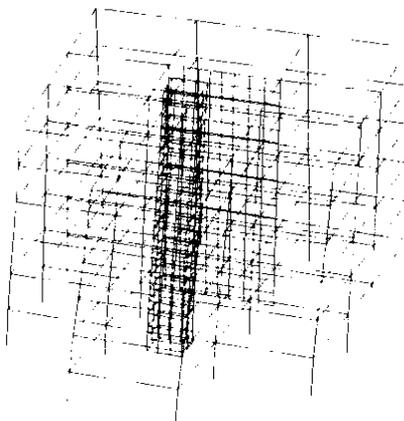


**Рис. 9. Расчетная схема каркаса здания**  
**Fig. 9. Design scheme of the building frame**

В расчетной схеме защемление колонн и лифтового узла и диафрагмы – жесткое, соединение ригелей с колоннами – шарнирное.

По результатам расчета было установлено, что максимальное горизонтальное перемещение в верхней точке здания имеет величину 12,4 мм. Величина фактического прогиба не превышает значения предельно допустимого крена здания.

Следовательно, пространственная жесткость каркаса здания обеспечена. Деформированная схема здания представлена на рис. 10.



**Рис.10. Деформированная схема каркаса здания**  
**Fig.10. Deformed building frame diagram**

Однако, с целью учета работы как самих CLT-панелей, так и их соединений, необходимо ввести поправочный коэффициент, который необходимо учесть в формуле расчета требуемого момента инерции здания  $I_{req}$  (2), так как его моделирование в программных комплексах затруднительно.

В заключение, выполним в ПК Scad Office два расчета, аналогичных расчету, приведенному выше, каркаса здания на воздействие ветровой нагрузки без предварительной оценки жесткостной характеристики каркаса здания.

Рассмотрим вариант конструктивной схемы здания, не включающего жесткостные элементы, каркас которого сформирован исключительно из стержневых элементов: колонн и ригелей. По результатам расчета максимальная величина горизонтального перемещения в верхней точке здания имеет величину 343,5 мм. Данное значение значительно превышает предельно допустимое. Следовательно, пространственная жесткость каркаса здания не обеспечена.

Далее рассмотрим вариант конструктивной схемы каркаса здания, горизонтальная жесткость которого обеспечивается конструкцией ядра жесткости. В этом случае, по результатам расчета, максимальная величина горизонтального перемещения в верхней точке здания имеет величину 24,61 мм. Данное значение не превышает предельно допустимое. Однако, в случае воздействия ветровой нагрузки в ином направлении, возникают крутящие моменты. Таким образом, принятое ранее расположение жесткостных элементов, представленное на рис.8, обеспечивает равномерное восприятие ветровой нагрузки и минимальное кручение здания вокруг своей оси.

**Вывод.** Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что предлагаемый способ предварительного вычисления жесткости здания с последующей корректировкой в расчетной схеме рационален и эффективен. С его помощью возможно избежать избытка пространственной жесткости здания и сократить время и трудозатраты на подбор и выбор места расположения жесткостных элементов.

#### Библиографический список:

1. Перспективы деревянного домостроения [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/perspektivy-derevyannogo-domostroeniya>. Заглавие с экрана.
2. Ведыков И. И., Мешкова Е.И. Тенденции мирового высотного строительства. Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура, 2013, 31-1 (50), 47-53 [Vedyakov I.I., Meshkova E.I. Trends of the world high-rise construction, J. Internet-vestnik VolgGASU, 2013, 31-1 (50), 47-53(in Russian)].
3. Деревянное домостроительство получит господдержку [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.spb.kp.ru/daily/26574/3590018/> – Заглавие с экрана. [Wood housebuilding will be supported by government [Electronic resource] – Access: <https://www.spb.kp.ru/daily/26574/3590018/>].
4. Анализ деревянного домостроения в России за 2010 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://marketing.rbc.ru/news\\_research/23/03/2011/562949979918112.shtml](http://marketing.rbc.ru/news_research/23/03/2011/562949979918112.shtml) – Заглавие с экрана.
5. Poirier E, Moudgil M., Fallahi A., Staub-French S., Tannert T. Design and construction of a 53-meter-tall timber building at the university of British Columbia, World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 60-77.
6. Stadthaus, 24 Murray Grove, London [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray\\_grove\\_case\\_study.pdf](https://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf) – Заглавие с экрана.
7. Zangerl M. Lct one [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://wooddesign.dgtpub.com/2013/2013-02-28/pdf/LCT\\_ONE.pdf](http://wooddesign.dgtpub.com/2013/2013-02-28/pdf/LCT_ONE.pdf) – Заглавие с экрана.
8. Tall Wood Gallery [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rethinkwood.com/tall-wood-masstimber/tall-wood-gallery> – Заглавие с экрана.
9. Abrahamsen R. B., Malo K.A. Structural design and assembly of “TREET” - a 14-storey timber residential building in Norway. World conference on Timber Engineering, Canada, 2014, 58-71.
10. Green M. The case for tall wood buildings [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-Tall-Wood.pdf> – Заглавие с экрана.
11. The Impacts of Construction and the Built Environment [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.willmott Dixon.co.uk/asset/download/9462](http://www.willmott Dixon.co.uk/asset/download/9462) – Заглавие с экрана.
12. Mohammad M., Jones R., Karacabeyli E. New heights in building with wood: Canada’s tall wood buildings demonstration initiative. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 211-234.
13. Bergen N. Case study of UBC Brock Commons - construction details and methods. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 98-109.
14. Савицкий Н.В., Шехоркина С.Е., Никифорова Т.Д., Шляхов К.В. Многоэтажное деревянное домостроение: современные тенденции и будущие перспективы. Строительство, материаловедение, машиностроение, 2017, 99, 153-159 [Savyt-

- skyi M. V., Shekhorkina S. Yev., Nikiforova T. D., Slyakhov K. V. Multy-story wood construction: current trends and future prospects. J. Building, material engineering, mechanic engineering, 2017, 99, 153-159 (In Ukrainian)].
15. Bernhard G. Mass Timber Building Systems: Understanding the Options [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/NE-WSF-150916-GAFNER-Mass-Timber-Building-Systems.pdf> – Заглавие с экрана.
  16. Чеснокова О.Г. Возможности применения системы «Элевит» в малоэтажном строительстве. Журнал Интернет-вестник ВолГАСУ, 2013, 3 (28) [Chesnokova O.G., Potential for using the «Elevit» in low-rise housing construction, J. Internet-vestnik VolgGASU, 2013, 3(28) (in Russian)].
  17. Stiemer S., Tesfamariam S., Karacabeyli E., Popovski M. Development of Steel-Wood Hybrid Systems for Buildings under Dynamic Loads. Conference: STESA. Santiago, Chile, 2012, 56/74.
  18. Fast P., Gafner B., Jackson R., Li J. Case study: an 18 storey tall mass timber hybrid student residence at the university of British Columbia, Vancouver. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 78-97.
  19. Zingerle P., Maderebner R., Flach M. System solutions for point-supported wooden flat slabs. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 277-288.
  20. Popovski M., Chen Z., Gafner B. Structural behavior of point-supported clt floor systems. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 268-275.
  21. Mestek P., Dietsch P. Design concept for CLT - reinforced with self-tapping screws. German Society of Wood Research. Germany, Munich, 2012, 307-318.
  22. Brandner R., Flatscher G., Ringhofer A., Schickhofer G., Thiel A. Cross laminated timber (CLT): overview and development, European Journal of Wood and Wood Products, 2016, 74 (3), 331–351.
  23. Воронкова Г.В., Ким Д.А. Влияние жесткостных характеристик элементов на перемещения в стержневой системе. Эффективные технологии и модели ресурсосбережения, энергосбережения и природопользования в ЖКХ и строительстве: труды международной научно-практической конференции. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2014, 69-75.
  24. Voccadoro L., Frangi A., Flachdecken aus Holz. Reliable timber and innovative wood products for structures. Structural elements of wood and wood products made of beech. Switzerland, Zürich, 2013, 21-29.
  25. Байков В.Н., Дроздов П.Ф., Трифонов И.А., Антонов К.К., Хлебной Я.Ф., Артемьев В.П., Рубинштейн В.С. Железобетонные конструкции. Специальный курс, М.: Стройиздат, 1981. 767 с.

#### References:

1. Perspektivy derevyannogo domostroyeniya [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/v/perspektivy-derevyannogo-domostroyeniya> – Zaglaviye s ekrana. [Prospects for wooden housing construction [Electronic resource] Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/v/perspektivy-derevyannogo-domostroyeniya>. Title from the screen. (In Russ)].
2. Vedyakov I. I., Meshkova Ye.I. Tendentsii mirovogo vysotnogo stroitel'stva. Vestnik volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura, 2013, 31-1 (50), 47-53 [Vedyakov I. I., Meshkova E. I. Global high-rise construction trends. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: construction and architecture, 2013, 31-1 (50), 47-53 [Vedyakov I.I., Meshkova E.I. Trends of the world high-rise construction, J. Internet-vestnik VolgGASU, 2013, 31-1 (50), 47-53 (In Russ)].
3. Derevyannoye domostroitel'stvo poluchit gospodderzhu [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.spb.kp.ru/daily/26574/3590018/> – Zaglaviye s ekrana. [Wood housebuilding will be supported by government [Electronic resource] – Access: <https://www.spb.kp.ru/daily/26574/3590018/>. [Wooden house-building will receive state support [Electronic resource] - Access mode: <https://www.spb.kp.ru/daily/26574/3590018/> - Title from the screen. [Wood house-building will be supported by government [Electronic resource] - Access: <https://www.spb.kp.ru/daily/26574/3590018/>.(In Russ)].
4. Analiz derevyannogo domostroyeniya v Rossii za 2010 g. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: [http://marketing.rbc.ru/news\\_research/23/03/2011/562949979918112.shtml](http://marketing.rbc.ru/news_research/23/03/2011/562949979918112.shtml) – Zaglaviye s ekrana. [Analysis of wooden housing construction in Russia in 2010 [Electronic resource] - Access mode: [http://marketing.rbc.ru/news\\_research/23/03/2011/562949979918112.shtml](http://marketing.rbc.ru/news_research/23/03/2011/562949979918112.shtml) Title from the screen. (In Russ)].
5. Poirier E, Moudgil M., Fallahi A., Staub-French S., Tannert T. Design and construction of a 53-meter-tall timber building at the university of British Columbia, World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 60-77.
6. Stadthaus, 24 Murray Grove, London [Electronic resource] - Access mode: [https://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray\\_grove\\_case\\_study.pdf](https://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf) - Screen title.
7. Zangerl M. Lct one [Electronic resource] - Access mode: [http://wooddesign.dgtlpub.com/2013/2013-02-28/pdf/LCT\\_ONE.pdf](http://wooddesign.dgtlpub.com/2013/2013-02-28/pdf/LCT_ONE.pdf) - Title from the screen.
8. Tall Wood Gallery [Electronic resource] - Access mode: <http://www.rethinkwood.com/tall-wood-masstimber/tall-wood-gallery> - Title from the screen.
9. Abrahamsen R. B., Malo K.A. Structural design and assembly of “TREET” - a 14-storey timber residential building in Norway. World conference on Timber Engineering, Canada, 2014, 58-71.
10. Green M. The case for tall wood buildings [Electronic resource] - Access mode: <http://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-Tall-Wood.pdf> - Screen title.
11. The Impacts of Construction and the Built Environment [Electronic resource] - Access mode: [www.willmott Dixon.co.uk/asset/download/9462](http://www.willmott Dixon.co.uk/asset/download/9462) - Title from the screen.
12. Mohammad M., Jones R., Karacabeyli E. New heights in building with wood: Canada's tall wood buildings demonstration initiative. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 211-234.

13. Bergen N. Case study of UBC Brock Commons - construction details and methods. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 98-109.
14. Savitsky N.V., Shekhorkina S.E., Nikiforova T.D., Shlyakhov K.V. Multi-storey wooden housing construction: current trends and future prospects. Construction, materials science, mechanical engineering, 2017, 99, 153-159 (In Ukrainian)].
15. Bernhard G. Mass Timber Building Systems: Understanding the Options [Electronic resource] - Access mode: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/NE-WSF-150916-GAFNER-Mass-Timber-Building-Systems.pdf> - Screen title.
16. Chesnokova O.G. Vozmozhnosti primeneniya sistemy «Elevit» v maloetazhnom stroitel'stve. Zhurnal Internet-vestnik VolgGASU, 2013, 3 (28) [Chesnokova O.G. Possibilities of using the "Elevit" system in low-rise construction. Journal Internet-vestnik VolgGASU, 2013, 3 (28) [Chesnokova O.G., Potential for using the "Elevit" in low-rise housing construction, J. Internet-vestnik VolgGASU, 2013, 3 (28) (In Russ)]
17. Stiemer S., Tesfamariam S., Karacabeyli E., Popovski M. Development of Steel-Wood Hybrid Systems for Buildings under Dynamic Loads. Conference: STESA. Santiago, Chile, 2012, 56/74.
18. Fast P., Gafner B., Jackson R., Li J. Case study: an 18 storey tall mass timber hybrid student residence at the university of British Columbia, Vancouver. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 78-97.
19. Zingerle P., Maderbner R., Flach M. System solutions for point-supported wooden flat slabs. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 277-288.
20. Popovski M., Chen Z., Gafner B. Structural behavior of point-supported clt floor systems. World Conference on Timber Engineering. Austria, 2016, 268-275.
21. Mestek P., Dietsch P. Design concept for CLT - reinforced with self-tapping screws. German Society of Wood Research. Germany, Munich, 2012, 307-318.
22. Brandner R., Flatscher G., Ringhofer A., Schickhofer G., Thiel A. Cross laminated timber (CLT): overview and development, European Journal of Wood and Wood Products, 2016, 74 (3), 331– 351.
23. Voronkova G.V., Kim D.A. Vliyaniye zhestkostnykh kharakteristik elementov na peremeshcheniya v sterzhnevoy sisteme. Effektivnyye tekhnologii i modeli resursosberezheniya, energosberezheniya i prirodopol'zovaniya v zhkhk i stroitel'stve: trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet, 2014, 69-75. [Voronkova G.V., Kim D.A. Influence of stiffness characteristics of elements on displacements in a rod system. Effective technologies and models of resource conservation, energy conservation and environmental management in housing and communal services and construction: proceedings of an international scientific and practical conference. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2014, 69-75. (In Russ)].
24. Boccadoro L., Frangi A., Flachdecken aus Holz. Reliable timber and innovative wood products for structures. Structural elements of wood and wood products made of beech. Switzerland, Zürich, 2013, 21-29.
25. Baykov V.N., Drozdov P.F., Trifonov I.A., Antonov K.K., Khlebnoy YA.F., Artem'yev V.P., Rubinshteyn V.S. Zhelezobetonnnyye konstruksii. Spetsial'nyy kurs, M.: Stroyizdat, 1981. 767 s. [Baikov V.N., Drozdov P.F., Trifanov I.A., Antonov K.K., Khlebnoi Y.F., Artemev V.P., Rubinstein V.S. Reinforced concrete structures. Special course, Moscow, Stroyizdat, 1981, 767 p. (In Russ)].

#### **Сведения об авторах:**

Александр Федорович Рожков, кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и управляемых систем, e-mail: [labsfu@yandex.ru](mailto:labsfu@yandex.ru)

Александр Алексеевич Лавров, магистр, кафедра строительных конструкций и управляемых систем, e-mail: [lavrovdj@mail.ru](mailto:lavrovdj@mail.ru)

Инга Владимировна Пикулева, магистр, кафедра строительных конструкций и управляемых систем, e-mail: [pikuleva.i.94@mail.ru](mailto:pikuleva.i.94@mail.ru)

Денис Александрович Поливанов, магистр, кафедра строительных конструкций и управляемых систем, e-mail: [frost\\_994@mail.ru](mailto:frost_994@mail.ru)

#### **Information about authors:**

Alexander F. Rozhkov, Cand. Sci.(Technical), Assoc. Prof., Department of Building Structures and Controlled Systems, e-mail: [labsfu@yandex.ru](mailto:labsfu@yandex.ru)

Alexander A. Lavrov, Master, Department of Building Structures and Controlled Systems, e-mail: [lavrovdj@mail.ru](mailto:lavrovdj@mail.ru)

Inga V. Pikuleva, Master, Department of Building Structures and Controlled Systems, e-mail: [pikuleva.i.94@mail.ru](mailto:pikuleva.i.94@mail.ru)

Denis A. Polivanov, Master, Department of Building Structures and Controlled Systems, e-mail: [frost\\_994@mail.ru](mailto:frost_994@mail.ru)

#### **Конфликт интересов.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 06.11.2020.

Принята в печать 30.11.2020.

#### **Conflict of interest.**

The authors declare no conflict of interest.

Received 06.11.2020.

Accepted for publication 30.11.2020.