

Повышение несущей способности и эксплуатационной надежности деревянных конструкций дополнительными элементами

Андрей Юрьевич УШАКОВ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: aushakov@mgsu.ru

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

Аннотация. В статье изложены преимущества и недостатки деревянных конструкций, рассмотрены основные способы повышения их эксплуатационной надежности, а также пути решения проблемы снижения материалоемкости конструкций из дерева. Показателем, определяющим эффективность использования ресурсов материала, уровень методов проектирования, производства и эксплуатации конструкций является коэффициент безопасности. Его допустимое значение определяют на основании опыта проектирования и эксплуатации, и находят как соотношение разрушающей нагрузки к проектной несущей способности. Приведены некоторые конструктивные способы и методы повышения надежности и долговечности деревянных строительных конструкций, такие как армирование и использование комплекта перфорированного крепежа в виде уголков, пластин и опор. Рассмотрены в данной работе элементы конструкций и технологии изготовления деревянных строительных конструкций с использованием армирования, а также с применением различных типов крепежей представляют наибольший интерес и являются актуальными в современном строительстве как при проектировании новых конструкций, так и при ремонте, реставрации и усилении.

Ключевые слова: деревянные конструкции, эксплуатационная надежность, коэффициент безопасности, несущая способность, долговечность, системы крепежей, армирование деревянных конструкций.

INCREASING THE BEARING CAPACITY AND OPERATIONAL RELIABILITY OF WOODEN STRUCTURES WITH ADDITIONAL ELEMENTS

Andrew Yu. USHAKOV, e-mail: aushakov@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. The article describes the main advantages and disadvantages of wooden structures, considers the main methods for improving their operational reliability as well as ways to solve the problem of reducing the material consumption of wooden structures. The indicator determining the efficiency of using material resources and, therefore, the economy of the structure, the level of methods of design, production and operation of structures is the safety factor. Its acceptable value is determined based on the experience of design and operation, and is found as the ratio of the destructive load to the design load-bearing capacity. The article, based on the analysis of design and construction experience, discusses some structural methods and methods to improve the reliability and durability of wooden building structures, such as reinforcement and the use of a set of perforated fasteners in the form of corners, plates and supports. The elements of structures and technologies for manufacturing wooden building structures using reinforcement, as well as using various types of fasteners, considered in this work, are of the greatest interest and are relevant in modern construction both when designing new structures, and during repair, restoration and reinforcement.

Key words: wooden structures, operational reliability, safety factor, bearing capacity, durability, systems of fixtures, reinforcing of wooden designs.

При возведении и реконструкции строительных объектов древесина как конструкционный материал используется для изготовления несущих и ограждающих конструкций, которые характеризуются многообразием форм, размеров, узлов сопряжений и т. д. В этой связи древесина должна обеспечивать длительную и надежную работу строительных конструкций в нормальных условиях эксплуатации.

Деревянные конструкции имеют ряд несомненных достоинств — высокую удельную прочность, большой и малый коэффициенты теплового сопротивления и термического расширения соответственно. Кроме того, они легко обрабатываются, обладают высоким архитектурно-художественным потенциалом. Вес деревянных конструкций значительно меньше веса конструкций из железобетона и камня, и, как след-

ствие, они не нуждаются в массивных опорах и фундаментах.

В то же время необходимо отметить и отрицательные свойства древесины: зависимость ее свойств от строения (анизотропия), излишнюю массивность сечений, ползучесть при длительной нагрузке и др. Все это, к сожалению, ограничивает область применения и ухудшает показатели деревянных конструкций.

Одна из основных проблем

при проектировании строительных конструкций — обеспечение их надежности и долговечности [1, 2].

Общие принципы обеспечения надежности конструкций и сооружений устанавливает ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований». Настоящий стандарт следует применять при проектировании, расчете, возведении, реконструкции, изготовлении и эксплуатации строительных объектов, а также при разработке нормативных документов и стандартов.

Для повышения эффективности и надежности использования древесины в строительной отрасли требуется проведение системного анализа и разработка конструкций с меньшим расходом материалов. Таким образом, решение проблемы снижения материалоемкости деревянных конструкций, повышения их надежности и долговечности при эксплуатации с помощью конструктивных методов — актуальная задача. Кроме того, надежность и длительность работы деревянных строительных конструкций в значительной мере зависят от соблюдения правил их эксплуатации [3, 4].

В этой связи цель работы — определить основные аспекты повышения эффективности деревянных строительных конструкций и их эксплуатационной надежности.

Состояние несущих и ограждающих конструкций зависит прежде всего от нагрузок и температурно-влажностных факторов.

Усушка лесоматериала нарушает цельность конструкции, вызывает коробление и ослабление элементов крепежа, возникают трещины в наиболее нагруженных сечениях. В свою очередь, высыхание или увлажнение создает опасность загнивания деревянных элементов, расслоения клееных деревянных конструкций. Во избежание этого несущие

деревянные конструкции должны хорошо проветриваться, быть защищенными от увлажнения, а также доступными для осмотра.

Один из показателей надежности конструкции — коэффициент безопасности. Этот показатель определяет эксплуатационную надежность, эффективность использования ресурсов материала, а следовательно, экономичность конструкции, уровень методов проектирования, производства и эксплуатации [4].

Допустимое значение коэффициента безопасности назначают на основании опыта проектирования и эксплуатации и рассчитывают как соотношение разрушающей нагрузки, полученной в результате испытания конструкции, к проектной несущей способности. При отсутствии необходимых данных допустимый коэффициент безопасности приближенно можно определить на основе так называемого дифференциального метода как произведение частных коэффициентов. Эти коэффициенты характеризуют длительную прочность древесины, качество изготовления конструкций, учитывают несовершенство методов их расчета. Значение коэффициента безопасности для строительных конструкций может изменяться в пределах 2,6–2,9.

Эксплуатация сооружений должна включать систематический технический надзор, при котором устанавливают наличие явных разрушений в растянутых и изгибаемых элементах, трещин в ответственных соединениях, щелей в составных дощатоклееных элементах, недопустимых прогибов и деформаций несущих конструкций покрытий и перекрытий, нарушений крепления ограждающих частей к каркасу и т. д.

Рассмотрим некоторые конструктивные способы и методы повышения надежности и долговеч-

ности деревянных строительных конструкций.

Один из самых эффективных и распространенных способов повышения надежности и долговечности деревянных строительных конструкций — армирование. Многочисленные исследования в области изучения армированных деревянных конструкций подтвердили их высокие конструктивные свойства, способность эффективно воспринимать постоянные и длительно действующие нагрузки, позволили определить наиболее действенные способы соединения арматуры с древесиной [5–7].

В последнее время были разработаны строительные конструкции с рациональным армированием, при котором стержни располагаются не только в зоне растягивающих напряжений, но и в сжатой зоне. Подобное армирование позволяет более эффективно использовать арматуру, так как отгибы стержней на расстоянии $1,2–1,5h$ (h — высота сечения) от опор позволяют практически во всех случаях предотвратить хрупкое разрушение конструкции от скалывания и значительно упростить технологию изготовления элементов конструкций.

Армирование многократно повышает надежность клееных конструкций против обрушения. Опыт проектирования и строительства с использованием армирования позволил определить перечень конструкций, в которых целесообразно применять предложенную методику: одно- и двухскатные балки, треугольные балки с затяжкой, стрелчатые арки, гнутые клееные рамы, рамы из прямолинейных элементов с армированным карнизным углом, колонны.

Наблюдения за армированными деревянными строительными конструкциями показали достаточно высокие эксплуатационные свойства [8].

К новым разработкам в области армирования деревянных конструкций относится деревянная балка, армированная стеклопластиковой арматурой. В результате экспериментально-теоретических исследований деревянных балок, армированных таким образом, было определено рациональное размещение арматуры по траекториям главных растягивающих деформаций, обеспечивающее прочность сечений в зоне опирания на действие сдвигающих усилий. Арматуру растянутой зоны следует располагать по линиям главных растягивающих деформаций путем отгиба стержней в приопорных участках в сторону сжатой зоны. Несущая способность балок с рациональным размещением арматуры увеличивается по сравнению с традиционным способом армирования на 12–15 % за счет усиления опорных зон, а деформативность снижается на 8–10 % благодаря анкеровке растянутой арматуры отгибом в приопорных участках. Экспериментальные исследования сжато-изгибаемых и изгибаемых конструкций на моделях и натуральных образцах позволили сделать вывод о высокой эффективности армирования стеклопластиковой арматурой деревянных конструкций [8].

Проект любого сооружения обязательно включает в себя не только расчеты по подбору сечения несущих и ограждающих конструкций, но и конструктивные решения узлов и соединений с выбором соответствующих элементов крепежа [9, 10].

При правильном выборе и расчете системы крепежей можно минимизировать величину деформации, а также значительно повысить эксплуатационную надежность строительных конструкций из дерева. С помощью различных видов креплений элементы каркасов, ферм и других конструкций соединяют по ширине, длине или под углом [11].

Самое широкое применение получил перфорированный крепеж — он универсален и надежен, имеет высокие прочностные характеристики, представлен большим количеством разновидностей. При использовании крепежей объем древесины снижается примерно на 20 % за счет уменьшения сечений балок без потери несущей способности.

Рассмотрим основные типы крепежей для деревянных строительных конструкций: уголки, пластины, опоры.

Уголки с толщиной металла от одного миллиметра являются наиболее распространенным видом крепежа, а также самым экономным по расходованию средств и времени и выпускаются в широкой номенклатуре размеров [12]. Уголки не требуют врезки, поэтому не влияют на несущую способность деревянных конструкций. В основном их выбирают для соединения горизонтальных элементов с вертикальной несущей поверхностью. При использовании уголков необходимо точно знать величину нагрузки, на которую рассчитывается деревянная конструкция.

Равнополочные уголки используются при монтаже стропильных систем, что значительно ускоряет и упрощает процесс. *Неравнополочные уголки* требуются при соединении деревянных балок между собой, а также с каркасными элементами из других материалов — стали, бетона, кирпича и относятся к самому распространенному виду крепежа. Кроме того, они используются для прочной фиксации столбов, колонн и опор.

Усиленные уголки — также один из самых распространенных типов крепления с толщиной металла, как правило, 2–3 мм. Они имеют одно или несколько ребер жесткости на сгибе и применяются для соединения деталей в кровельных и фасадных конструкциях.

Пластины делятся на крепежные и соединительные. *Крепежные пластины* фиксируют сразу несколько элементов. Они используются в домостроении для горизонтальных и вертикальных соединений деревянных элементов, оптимальны для стыков в перегородках стропильной фермы, подходят для Т-образных пересечений и при скреплении торцами. Пластины имеют отверстия для саморезов и болтов, изготавливаются из листовой стали и покрыты антикоррозионным составом, что обеспечивает их долговечность.

Соединительные пластины выполняют те же функции, что и крепежные, но при этом они чуть больше по размеру (длина — до 100 мм, ширина — до 1200 мм). Такие пластины отличаются от крепежных тем, что перфорация для шурупов у них более частая и одинакового диаметра, что позволяет закреплять балки и другие элементы под любым углом.

Опоры — это металлические оцинкованные крепежи и кронштейны для деревянных балок и брусьев, их можно стыковать под прямым углом друг с другом или с другими элементами (в том числе из различных материалов). Кроме стандартных опор, точно соответствующих размерной номенклатуре брусьев, существуют также регулируемые по ширине кронштейны.

По принципу крепления опоры бывают открытые и закрытые. У первых конструкция находится на виду, у вторых — балка или брус при установке придавливает «ушки» опоры, частично скрывая ее за деревянным элементом. Это делается для повышения надежности крепления. Скрытый кронштейн позволяет полностью спрятать крепеж внутри балки. Для этого на торце пропиливается узкое вертикальное отверстие (для ввода кронштейна, закрепленного на несущей стене) и от-

версия для штифтов, которые окончательно зафиксируют крепеж. Оптимальный размер кронштейна — 2/3 высоты балки.

Для стропил производится особый вид крепежа — скользящая опора. Этот кронштейн с уголком со специальной петлей — самый незаменимый элемент крепления, который дает возможность смещения стропил относительно мауэрлата (строительной балки) во время естественной усадки дома. По оценкам специалистов, осадка сруба может достигать 15 %, и если при этом крепление стропил будет жестким, то кровельная система неизбежно подвергнется деформации. Скользящие опоры производятся из низкоуглеродистой стали — прочной и пластичной, и обрабатываются антикоррозионным составом.

Отдельный вид крепежа разра-

ботан для колонн. Эта конструкция представляет собой опорную пластину с отверстиями под анкерный (или дюбельный) крепеж и квадратный короб или полый цилиндр, в который и вставляется колонна. Такие опоры бывают закладные и свободного опирания, регулируемые и нерегулируемые, скрытые и открытые. Опора крепится на бетонный фундамент анкерными болтами, защищает основание колонны, предотвращает гниение дерева и надежно закрепляет тяжелый элемент без бетонирования. Для монтажа соединительных элементов (уголки, пластины, опоры) используются саморезы, шурупы, болты, нагели, глухары и гвозди.

В ы в о д

Повышение эксплуатационной надежности деревянных строительных конструкций неразрыв-

но связано с применением конструкций и изделий с малой материалоемкостью и высокими эксплуатационными параметрами. Рациональные решения позволяют создать конструкции с заранее заданными прочностными и деформационными характеристиками, что будет способствовать снижению расхода древесины и повышению эксплуатационной надежности деревянных конструкций. Рассмотренные в данной работе элементы конструкций и технологии изготовления деревянных строительных конструкций с использованием армирования, а также с применением различных типов крепежей представляют большой интерес и играют важную роль в современном строительстве как при проектировании новых конструкций, так и при ремонте, реставрации и усилении.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Громацкий В. А., Турковский С. Б., Филимонов М. А. Об оценке надежности элементов деревянных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 6 (239). С. 66–73.
2. Ермакова К. Н., Красильникова А. В., Киселев В. В. Поиск причин снижения прочности и надежности элементов деревянных конструкций // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф. (18 апреля 2018 г.). Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС, 2018. С. 70–73.
3. Погорельцев А. А., Пятикрестовский К. П. Дальнейшее развитие и совершенствование норм проектирования конструкций из древесины // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 3. С. 35–41.
4. Бойтемиров Ф. А. Проектирование деревянных конструкций с повышенными эксплуатационными свойствами // БСТ. 2019. № 5. С. 49–51.
5. Муселемов Х. М., Устарханов О. М., Калиева М. Х., Манапов Р. М. Исследования клееных армированных деревянных конструкций // Наука в цифрах. 2016. № 1. С. 10–13.
6. Рощина С. И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: дис. д-ра техн. наук. М., 2009.
URL: <https://www.dissercat.com/content/prochnost-i-deformativnost-kleenykh-armirovannykh-derevyannykh-konstruktsii-pri-dlitelnom-de> (дата обращения: 8.10.2019).
7. Демчин А.Б., Сурмай М. И., Пелех А. Б. Исследование работы армированных дощатоклееных балок // Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура. 2015. № 1(91). С. 32–36.
8. Ивакин А. И., Иодчик А. А. Армирование как средство повышения несущей способности деревянных конструкций // Материалы 59-й студенческой науч.-техн. конф. (апрель 2019 г.). Хабаровск : ТОГУ, 2019. С. 257–260.
9. Найминова Г. С. Узловые соединения в деревянных конструкциях // В мире науки и инноваций: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. (20 апреля 2017 г.). Казань : Азтерна, 2017. С. 76–77.
10. Лысов Д. А., Ветошкин Ю. И. Соединение элементов деревянных конструкций // Научное творчество молодежи — лесному комплексу России: материалы XV Всерос. науч.-техн. конф. (18–19 апреля 2019 г.). Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. С. 90–93.
11. Довженко И. Г. Применение металлических элементов в соединениях деревянных конструкций // Наука, образование и экспериментальное проектирование: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (9–13 апреля 2012 г.). М. : МАРХИ, 2012. С. 421–424.
12. Куправа Л. Р., Паничева А. А. Соединения деревянных элементов // Вестник Студенческого научного общества. 2017. Т. 8. № 3. С. 71–73.

REFERENCES

1. Gromackij V. A., Turkovskij S. B., Filimonov M. A. On evaluation of reliability of elements of wooden structures. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*, 2011, no. 6 (239), pp. 66–73. (In Russian).
2. Ermakova K. N., Krasil'nikova A. V., Kiselev V. V. Search for reasons for decrease of strength and reliability of elements of wooden structures. *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov. Sbornik materialov IX Vseros. nauchn.-prakt. konf.* [Reliability and durability of machines and mechanisms. Proc. of the IX all-Russian scientific and practical conference (April 18, 2018)]. Ivanovo, Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Publ., 2018, pp. 70–73. (In Russian).
3. Pogorel'cev A. A., Pyatikrestovskij K. P. Issues of further development and improvement of design standards for wood structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2019, no. 3, pp. 35–41. (In Russian).
4. Bojtemirov F. A. Design of wooden structures with increased performance properties. *BST*, 2019, no. 5, pp. 49–51. (In Russian).
5. Muselemov H. M., Ustarhanov O. M., Kalieva M. H., Manapov R. M. Studies of glued reinforced wooden structures. *Nauka v cifrah*, 2016, no. 1, pp. 10–13. (In Russian).
6. Roshchina S. I. *Strength and deformability of glued reinforced wooden structures under long-term load action*. Moscow, 2009.
Available at: <https://www.dissercat.com/content/prochnost-i-deformativnost-kleenykh-armirovannykh-derevyannykh-konstruktsii-pri-dlitel'nom-de> (accessed 8.10.2019). (In Russian).
7. Demchin A.B., Surmaj M. I., Pelekh A. B. The research work of reinforced glulam beams. *Vestnik BrGTU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2015, no. 1(91), pp. 32–36. (In Russian).
8. Ivakin A. I., Iodchik A. A. Reinforcement as a means of increasing the bearing capacity of wooden structures. *Materialy 59-j studencheskoj nauchn.-tekhn. konf.* [Materials of the 59th student scientific and technical conference (April, 2019)]. Habarovsk, TOGU Publ., 2019. Pp. 257–260. (In Russian).
9. Najminova G. S. Nodal connections in wooden structures. *V mire nauki i innovacij. Sb. statej Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [In the world of science and innovation. Collection of articles of the International scientific and practical conference (April 20, 2017)]. Kazan, Aeterna Publ., 2017. Pp. 76–77. (In Russian).
10. Lysov D. A., Vetoshkin Yu. I. Join elements of wooden structures. *Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii. Materialy XV Vseros. nauchn.-tekhn. konf.* [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia. Proc. of the XV all-Russian scientific and technical conference (April 18–19, 2019)]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2019. Pp. 90–93. (In Russian).
11. Dovzhenko I. G. Use of metal elements in connections of wooden structures. *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Materialy Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Science, education and experimental design. Proc. of the International scientific and practical conference (April 9–13, 2012)]. Moscow, MARHI Publ., 2012. Pp. 421–424. (In Russian).
12. Kuprava L. R., Panicheva A. A. Connections of wooden elements. *Vestnik Studencheskogo nauchnogo obshchestva*, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 71–73. (In Russian).

Для цитирования: Ушаков А. Ю. Повышение несущей способности и эксплуатационной надежности деревянных конструкций дополнительными элементами // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 28–32. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.28-32.

For citation: Ushakov A. Yu. Increasing the Bearing Capacity and Operational Reliability of Wooden Structures with Additional Elements. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 1, pp. 28–32. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.28-32. ■