

Исследование вопросов усиления деревянных конструкций

Д.С. Журавлев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Рассматриваются основные причины ослабления деревянных конструкций, а также главные требования к усилению деревянных конструкций. Разбираются различные методы для усиления конструкций. Отдельно выделяется усиление при помощи углеволокна, рассматриваются основные преимущества и недостатки данного метода.

Ключевые слова: анализ, причины, методы, усиление, деревянные конструкции, древесина, реконструкция, углеволокно, композит, прочность, деформативность.

Древесина – один из старейших строительных материалов. На территории современной России сохранилось огромное количество архитектурных памятников, построенных с использованием деревянных конструкций. В период с 1933 по 1961 годы, в России также было распространено строительство многоквартирных домов с деревянными перекрытиями [1]. Однако, с течением времени, деревянные, как и любые другие конструкции приходят в негодность и возникает необходимость в реконструкции таких зданий. Реконструкция зданий и сооружений является одним из наиболее глобальных направлений в строительстве. Особенно стоит выделить реконструкцию объектов культурного наследия как наиболее сложные и трудоемкие. При их восстановлении стоит задача не только вернуть зданию необходимую прочность и несущую способность, но и сохранить первоначальный внешний вид. Однако, последнее время, требуется сохранить не только внешний фасад, но и большую часть внутренних конструкций. Вследствие этого, при реконструкции может возникнуть ситуация, когда некоторые конструкции необходимо усилить. Поводами для усиления конструкций могут послужить:

- непригодность конструкции к эксплуатации (аварийное состояние);
- увеличение нагрузок, приходящихся на конструкции;

- изменение функционального назначения здания;
- изменения в нормативных документах.

Так, наиболее распространенной причиной аварийного состояния конструкций из дерева являются нарушения требований эксплуатации. К биологическим поражениям древесины зачастую приводит нарушения температурно-влажностного режима [2, 3].

Другим часто встречающимся нарушением является увеличение нагрузок на конструкции, в результате ремонтов, эксплуатации оборудования и многого другого, на что деревянные конструкции не были рассчитаны. Такое нарушение приводит к трещинам и разрывам в деревянных конструкциях.

При изменении функционального назначения здания, также изменяются и нормативные значения нагрузок, вследствие чего возникает необходимость в усилении конструкций. Так, например, при реконструкции жилого здания, с изменением его функционального назначения на общественное, значение нормативной равномерно распределенной нагрузки увеличиться в два раза, с 1,5 кПа до 3,0 кПа (согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»), что приведет к необходимости усиления существующих конструкций.

Случаи необходимости усиления конструкций в связи с изменениями в нормативных документах достаточно редки, однако имеют место. Так, после утверждения нового свода правил «Нагрузки и воздействия» в 2011 году, значения веса снегового покрова были изменены для некоторых районов страны, вследствие чего, здания и сооружения, запроектированные по старым нормам, пришлось усиливать для предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Большое влияние на несущую способность деревянных конструкций оказывают и различные пороки древесины. Самыми распространенными из них являются сучки и трещины. Сучки – это основания ветвей, заключенных

в древесине ствола. Трещины же встречаются как природные, так появившиеся в следствие нарушения технологии обработки древесины.

Клееные деревянные конструкции частично решают некоторые проблемы, связанные с пороками древесины, однако, у них есть и свои дефекты, негативно влияющие на несущую способность конструкций. Такие дефекты относятся к технологическим и эксплуатационным. К технологическим дефектам относятся непрочности, некачественная обработка заготовок, несоблюдение температурно-влажностного режима при производстве. К эксплуатационным – снижение влажности или повышение температуры в помещении, где такие конструкции эксплуатируются. Все эти дефекты приводят к появлению трещин и расслоению клееной конструкции [4].

Во всех случаях уменьшения несущей способности деревянных конструкций одним из путей их восстановления и повышения несущих характеристик является их усиление различными методами.

В настоящее время существует большое количество различных методов усиления деревянных конструкций. Однако, ввиду актуальности, исследования на эту тему не прекращаются и поиски наиболее эффективного и экономичного варианта усиления деревянных конструкций продолжаются.

Основные требования к усилению конструкций:

- необходимость обеспечить надлежащую несущую способность, долговечность и надежность;
- обеспечение совместной работы усиливаемой конструкции и усиливающих элементов;
- недопущение изменения центра тяжести основного сечения и нарушения центровки в узлах.

Основным условием усиления конструкций является отсутствие нагрузок на элементы, это означает, что усиление деревянных элементов

следует выполнять на разгруженных конструкциях, в отсутствие временных нагрузок: снеговых и технологических [5].

Выделяются 2 типа усиления:

1. Без изменения схемы работы – используется только в момент локальных повреждений конструкций;
2. С изменением схемы работы, которая использует дополнительные элементы укрепления конструкций.

Самым первым методом усиления деревянных конструкций является увеличение площади поперечного сечения. Это один из самых распространенных методов в малоэтажном строительстве ввиду своей простоты. Метод заключается в простейшем наращивании сечения путем добавления дополнительных элементов (устройство накладок на болтах или клеевоздушной запресовки).

Также есть метод косвенного усиления или изменения условий эксплуатации. Данный метод заключается в использовании запасов прочностных характеристик элементов. Производится более точный расчет фактически действующих нагрузок и фактической несущей способности деревянных элементов. Ограничиваются технологические нагрузки – оборудование заменяется на более современное и легкое, ограничиваются временные снеговые нагрузки – более частая и тщательная очистка покрытий. Возможная установка дополнительных подпорных элементов для разгрузки конструкций. Однако, данный метод не пользуется особой популярностью ввиду своей ограниченности в применении, или используется в качестве временных мер для усиления конструкций.

Для усиления местных дефектов деревянных конструкций используется метод местного усиления. Он заключается в устройстве накладок, перекрывающих различные ослабления в элементах, или устройстве стальных протезов в опорных узлах конструкций. Данный метод

используется при механических ослаблениях балки, надрывах волокон или при местном расслоении клееных деревянных конструкций. Также этот метод используется при глубоком гниении древесины, когда необходимо удалить пораженный участок, на его место вставить элемент здоровой древесины, а ослабленное сечение усилить накладками.

Одним из наиболее эффективных методов усиления деревянных элементов является изменение статической схемы работы конструкции. Метод заключается в устройстве дополнительных опор и подкосов, введении дополнительных затяжек и стержней, установке дополнительных связей, превращения неразрезных систем в разрезные и наоборот. Однако, этот метод ограничивается наличием свободного пространства под усиливаемой конструкцией.

Усиление деревянных конструкций разделяются на следующие виды:

1. Армирование деревянных конструкций. Армирование деревянных конструкций представляет собой усиление деревянных конструкций с помощью стержней или полукаркасов, которые представляют собой продольные стержни арматуры, приваренные к поперечным, которые в свою очередь предотвращают частичное или полное разрушение конструкции.

Армирование помогает снизить ползучесть, а также сократить влияние пороков древесины на несущую способность [6].

Армирование деревянных конструкций имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

Основными минусами являются:

- гниение древесины в местах усиления;
- разность реакции деревянных и металлических элементов на изменение температурно-влажностного режима;
- горючесть древесины.

Основными плюсами являются:

- увеличение срока службы конструкции;
- снижение ползучести конструкции;
- упрощение монтажа и реконструкции деревянной конструкции;
- снижение нагрузки на деревянную конструкцию.

Данный вид помогает разгрузить деревянную конструкцию, тем самым уменьшая деформацию, часть нагрузки будет приходиться на армированное усиление, что позволит увеличить срок службы конструкции.

2. Усиление деревянными и металлическими накладками. Данный вид подразумевает укрепление конструкций в таких случаях:

- неудовлетворительное состояние;
- уменьшение несущей способности;
- изменения, которые повлекут увеличение веса на перекрытие.

Деревянные накладки не требуют изменения условий эксплуатации, и применяются только на поврежденный участок.

Металлические накладки также не требуют изменений условий эксплуатации. В момент эксплуатации деревянные накладки, могут быть заменены на металлические, только в тот момент, когда область поврежденного участка увеличилась.

3. Протезирование. Данный вид применяется при глубоком и большом по площади гнилостном поражении опорных частей балок.

Протезы могут быть, как деревянные, так и металлические.

Углеволокно - достаточно новый вид материала, который еще не применяется в больших масштабах. Первые упоминания о углеволокном материале датируется 1998 годом, но в России в 1970-х гг. насчитывалось 3 предприятия по производству углеволокна.

В 2016 основным заводом по производству композитных материалов становится «Композит», который создавался с целью насыщения

российского рынка углеволокном. Основными сферами потребления углеволокна стали:

- автомобилестроение;
- авиапромышленность;
- ракетостроение;
- электроника;
- машиностроение;
- строительство.

В период 2015 года потребление углеволокна внутри российского рынка было настолько низким, что основная часть материала уходила на нужды оборонного комплекса.

На сегодняшний момент в России углеволокно не имеет широкого распространения, но также продолжает развиваться совершенствоваться и модернизироваться.

Углеволокно в деревянном строительстве применяется чаще всего для усиления деревянных балок в виде наружного армирования.

Основным преимуществом использование материалов на основе углеволокна в деревянном строительстве являются: малый вес, прочность, экологичность, устойчивость к химическим средам, долгий срок службы деревянных конструкций, использование в качестве бондажей.

Углеволокно способствует увеличению прочности, деформационных и эксплуатационных характеристик, которое способствует увеличению срока службы деревянных конструкций [7-9].

В таблице №1 показаны сравнительные показатели углеволокна с другими материалами.

Из данной таблицы, можно сделать вывод, что основным и ярким преимуществом углеволокна является показатель модуля упругости, который в 2, а то и в 4 раза выше, чем у других материалов.

Таблица №1

Сравнительные показатели характеристик углеволокна с другими материалами

Тип волокна		Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Удлинение при разрыве, %	Плотность г/см ³
Углеродное	высокопрочное со стандартным модулем	3500-5000	200-280	1,4-2,0	1,75-1,80
	высокопрочное среднемодульное	4500-7000	280-325	1,7-2,1	1,73-1,81
	высокомодульное	2500-4000	325-450	0,7-1,4	1,75-1,85
	сверхвысокомодульное	2500-3800	450-600	0,7-1,0	1,85-1,95
Стеклоанное	Е-стекловолокно*	4000-4500	70-75	4,5-4,7	2,5-2,7
	S-стекловолокно**	3000-3600	80-90	5,0-5,3	2,5
Органическое	Армидное	200-3600	60-180	2,4-3,6	1,45
	Полиэтиленовое	200-3000	5-170	3-80	0,96
Стальное	Высокопрочное	1200-2800	200	3,5	7,8
	Нержавеющее	800-2000	190	3,0	7,8
Базальтовое		3000-4800	90-110	3,0	2,6-2,8
Борное		3500-4000	350-400	0,5-0,7	2,6
<p>* – стекловолокно низкой электрической проводимости, почти 90 % всех стеклянных волокон, которые выпускаются сегодня в мире это стекловолокно марки Е;</p> <p>** – стекловолокно повышенной прочности по сравнению с волокнами Е-стекла</p>					

Таким образом, углеволокно в деревянном строительстве способно повысить:

- прочность;
- долговечность;
- устойчивость к коррозии;
- экономия расходов на строительство и эксплуатации [10].

Как и любой другой материал, углеродное волокно, наряду со всеми своими преимуществами, имеет и ряд недостатков.

Основными недостатками углеволокна являются:

1. Стоимость. Ценовая политика материала формируется, исходя из качества сырья, из энергозатратности и трудоемкости, которые затрачиваются на производство материала;

2. Процесс производства. В период производства углеволокна затрачивается достаточно большое количество отходов. В данном недостатке подразумевается, что переработка достаточно сложная и требуется дополнительные ресурсы, но также после переработки углеволокна, переработанный продукт имеет меньшую прочность;

3. Слабо развитая переработка. В настоящее время в России достаточно слабо развито производство материалов из продуктов переработки углеволокна.

Из перечисленных выше пунктов можно сделать вывод, что недостатки у углеродного волокна есть. Однако, для устранения данных недостатков непрерывно ведутся различные исследования в этой области. Так, для разрешения экономической составляющей вопроса необходимо всеобщее признание, распространение и внедрение углеволокна в строительную отрасль. За счет увеличения спроса будут снижаться и цены. Проблему переработки решают ученые, проводя различные исследования в этой

области. С каждым годом технологии усовершенствуется, и будут развиваться заводы и технологии для производства углеволокна.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что в настоящее время насчитается большое количество зданий и сооружений, содержащих в себе деревянные конструкции и элементы. Необходимость усиления данных конструкций возникает как в старых зданиях, представляющих собой памятники архитектуры, так и в современных зданиях, нуждающихся в усилении деревянных конструкций по тем или иным причинам. Среди всего разнообразия вариантов усиления деревянных конструкций, наиболее современным и эффективным является усиление при помощи углеродных лент.

Литература

1. Gintoff, V. CLT and the future of wood: The timber revolution comes to industrial architecture / URL: archdaily.com/782264/clt-crosslaminated-timber-and-the-future-of-wood-the-timber-revolution-comes-to-industrialarchitecture
 2. Стоянов В.О. Прочность и деформативность изгибаемых деревянных элементов, усиленных полимерными композитами: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.01 / Стоянов Владимир Олегович; [Место защиты: Науч.-исслед. центр "Стр-во"]. - Москва, 2018. - 186 с.
 3. Meier, U. Strengthening and stiffening of historic wooden structures with CFRP. International Conference on FRP composites in Civil engineering. Hong Kong, China, 12–15 December 2001. p. 967–974
 4. Щелокова Т.Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова: научно-теоретический журнал. – 2018 – № 6. – 39-45 с.
 5. Карлсен Г.Г. Деревянные конструкции: учеб. для вузов /Москва.: Государственное техническое издательство, 1930. – 55 с.
-

6. Gentile, C.J. Flexural strengthening of timber bridge beams using FRP: Dissertational work, Degree: M. Sc. / The University of Manitoba (Canada), 2001. – 149 p.
7. Салатов Е.К., Багай А.С., Белкина С.В. Усиление деревянных конструкций композитными материалами // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2021. №1. С. 21-24.
8. Гриднев Н.Н., Харламова А.С. Усиление деревянных балок полимерными композитами // Молодой ученый: международный научный журнал. – 2020 – № 20 (310). – 97-99 с.
9. Потапова Т.В. К вопросу усиления эксплуатируемых деревянных конструкций композитными материалами // Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7533
10. Бормотина А.М., Щелокова Т.Н. Усиление деревянных конструкций углеволокном при реконструкции объектов на примере историко-архитектурного музея-заповедника «Кижі» // Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7547

References

1. Gintoff, V. CLT and the future of wood: The timber revolution comes to industrial architecture URL: archdaily.com/782264/clt-crosslaminated-timber-and-the-future-of-wood-the-timber-revolution-comes-to-industrialarchitecture
2. Stojanov V.O., Prochnost' i deformativnost' izgibaemyh derevjannyh jelementov, usilennyh polimernymi kompozitami: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk: 05.23.01 Stojanov Vladimir Olegovich [Strength and deformability of bent wooden elements reinforced with polymer composites: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences 05.23.01 Stojanov Vladimir Olegovich]. Moskva, 2018, p.186.



3. Meier, U. International Conference on FRP composites in Civil engineering. Hong Kong, China, 12–15 December 2001. p. 967–974.
4. Shhelokova T.N. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova: nauchno-teoreticheskij zhurnal. 2018 № 6. pp. 39-45.
5. Karlsen G.G. Derevjannye konstrukcii: ucheb. dlja vuzov [Wooden structures: a textbook for universities] Moskva.: Gosudarstvennoe tehničeskoe izdatel'stvo, 1930. 55 p.
6. Gentile, C.J. Flexural strengthening of timber bridge beams using FRP: Dissertational work, Degree: M. Sc. The University of Manitoba (Canada), 2001. 149 p.
7. Salatov E.K., Bagay A.S., Belkina S.V. Vestnik Moskovskogo informacionno-tehnologičeskogo universiteta Moskovskogo arhitekturno-stroitel'nogo instituta. 2021. №1. Pp. 21-24.
8. Gridnev N.N., Harlamova A.S. Molodoj uchenyj: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. 2020 № 20 (310). Pp. 97-99.
9. Potapova T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7533
10. Bormotina A.M., Shhelokova T.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7547