

УДК 69.059

**УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**
◆◆◆◆
**REINFORCEMENT OF WOODEN STRUCTURES
WITH COMPOSITE MATERIALS**

Леонова Анна Николаевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры строительных конструкций,
Кубанский государственный
технологический университет
lan.75@mail.ru

Акритов Христофор Эдуардович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
qwertys8988@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены дефекты деревянных конструкций, приведены традиционные способы усиления древесины. Рассматриваются особенности применения композитных систем внешнего армирования для деревянных конструкций. Представлена классификация композитных материалов в зависимости от типов наполнителей. Описаны преимущества композитных материалов перед традиционными системами усиления.

Ключевые слова: древесина, конструкция, композит, усиление, ламель.

Leonova Anna Nikolaevna

Ph.D., Associate Professor
of building structures,
Kuban state university of technology
lan.75@mail.ru

Akritov Khristofor Eduardovich

Student,
Kuban state university of technology
qwertys8988@mail.ru

Annotation. The article discusses the defects of wooden structures, and provides traditional methods of strengthening wood. The features of using composite external reinforcement systems for wooden structures are considered. The classification of composite materials depending on the types of fillers is presented. The advantages of composite materials over traditional reinforcement systems are described.

Keywords: wood, construction, composite, reinforcement, lamella.

Древесина является древнейшим и наиболее распространенным конструкционным материалом. К основным достоинствам древесины как конструкционного материала относят высокую удельную прочность, сопоставимую со стальными конструкциями, простоту и экономичность механической обработки, что определяется малыми затратами энергии на обработку и низкой потребностью в специализированном оборудовании, малый удельный вес, высокую сейсмостойкость, радиопрозрачность, экологичность, химическую стойкость, что позволяет древесине служить намного дольше в условиях агрессивного воздействия внешних сред (здания калийных удобрений, здания бассейнов, аквапарки и т.д.), архитектурную выразительность [1, с. 43]. К основным недостаткам относят анизотропию свойств древесины, вызванную её анатомическим строением, а также влияние пороков древесины.

Основные дефекты, предшествующие отказам деревянных элементов представлены на рисунке 1.

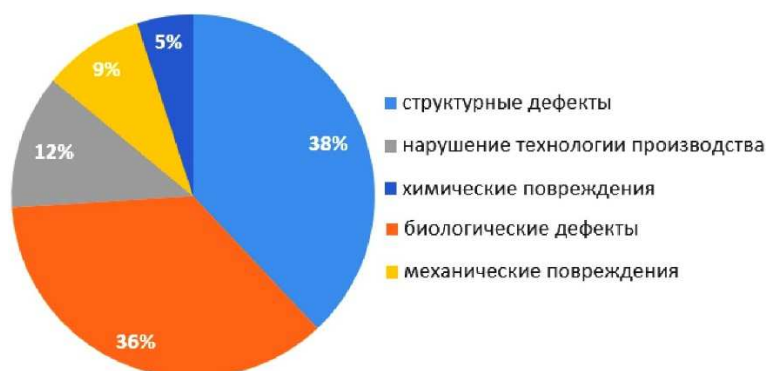


Рисунок 1 – Причины дефектов деревянных конструкций

В 75 % случаев отказа конструктивных элементов этому событию предшествует образование трещин в продольном направлении и в опорных зонах, а также расслаивание деревянных элементов; в 11 % – ненадлежащие условия эксплуатации, смятие опорных участков и т.д.; в 8 % – скалывание элементов конструкции; в 6 % – разрыв волокон в растянутой зоне деревянных элементов [1, с. 67].

Пороки древесины значительно влияют на несущую способность деревянных элементов. Наличие сучков и перерезанных волокон присучковых косослоев в растянутой зоне деревянных балок значительно снижает их прочность. Решением проблем снижения влияния пороков и снижения материалоемкости деревянных элементов при повышении их прочности и жесткости стало появление комбинированных конструкций, где армирующий материал воспринимает преимущественно растяжение, снижая влияние различных дефектов растянутой зоны, а древесина преимущественно работает на сжатие. В качестве основного армирующего материала на изначальном этапе применялась сталь.

Прототипом современных армированных деревянных конструкций является балка коробчатого сечения с запрессованной в ней арматурой, применяемая в конструкциях дирижаблей. Однако отсутствие надежных средств соединения проволоки с древесиной не позволило реализовать данное конструктивное решение [1, с. 70]. Армировать стальными прутками деревянные балочные конструкции впервые было предложено А. Фишером в 1926 г. Стальные прутки должны были укладываться в пазы квадратного сечения и заливаться специальной мастикой. В 1937 г. А.Л. Монасевичем были предложены конструкции балок с соединением металлических пластин на выштампованных зубьях и устройством особых анкерующих устройств в опорных зонах, но данный способ соединения, не смотря на эффективность, позволял армировать только растянутую зону в то время, как расчеты показывали, что наиболее эффективно симметричное армирование поперечных сечений [2, с. 54]. Для решения этих проблем в 1944 г. Х. Гранхольмом были предложены балки, армированные стальными стержнями с кольцевыми выступами по длине, однако данное конструктивное решение имело важный недостаток – податливость соединений, соответственно, их ненадежность. Способы армирования деревянных конструкций представлены на рисунке 2.

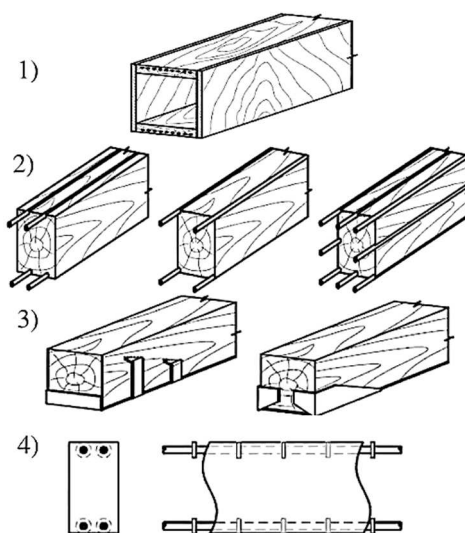


Рисунок 2 – Способы армирования деревянных конструкций

К традиционным способам усиления деревянных конструкций относится замена поврежденных конструкций или их частей новыми деревянными или металлическими элементами, установкой дополнительных элементов без изменения или с изменением схемы работы конструкции.

В настоящее время широкое применение для усиления несущих конструкций находят композитные материалы (рис. 2) [2, с. 69]. В качестве исходного сырья принимают материалы, обладающие высокими физико-механическими характеристиками: бор, углерод, кремний, арамид, оксиды алюминия и циркония.

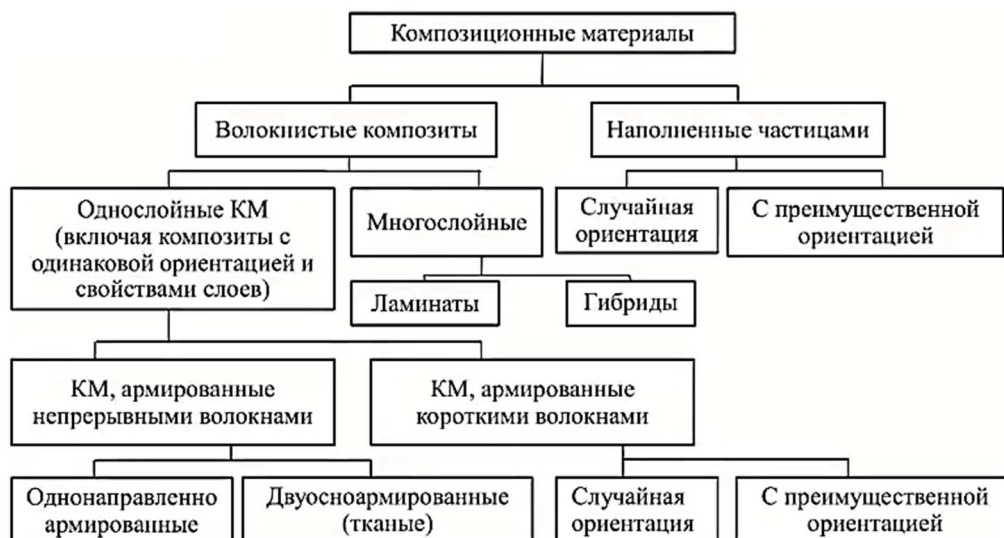


Рисунок 3 – Классификация композитных материалов в зависимости от типов наполнителей

Область применения определяется набором необходимых параметров композитных материалов, их стоимостью и эксплуатационными характеристиками (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики различных армирующих материалов и полимерных матриц

Материал	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м ³
Стекловолокно «S»	4585	85	3,5–4,7	2,48
Базальтовое волокно	4100	110	3,5–4,7	2,8
Углеродное (высокопрочное)	4300–4900	230–240	1,9–2,1	1,8
Арамид	3200–3600	124–130	2,4	1,44
Арматурная сталь класса А400	390	205	20-30	7,8

Наибольшее распространение при усилении конструкций получило углеродное волокно. Не смотря на высокую стоимость, оно обладает высокими физико-механическими характеристиками, модулем упругости, сопоставимым со сталью, низкой гигроскопичностью (степень поглощения воды из атмосферы) в отличие от арамидных волокон [3, с. 97].

Основная диаграмма деформирования композитных материалов в сравнении с основными арматурными сталями представлена на рисунке 4. Как видно из графика, деформирование композитов происходит линейно вплоть до разрушения, сопровождается, как правило, низким развитием деформации армирующего материала.

Главными достоинствами композитных материалов являются: высокая прочность при крайне низкой массе и малых габаритных размерах, легкость монтажа, обеспечивающая возможность производства работ непосредственно на строительной площадке без использования дополнительного оборудования, коррозионная стойкость, открывающая широкие перспективы по усилению конструкций (для зданий с агрессивным технологическим процессом), возможность использования композитов для систем внешнего армирования для зданий, обладающих высокой культурной ценностью, памятников архитектуры [4, с. 134].

Композитные системы внешнего армирования деревянных конструкций могут применяться для:

1) усиления деревянных балок мостов – пролетные конструкции балок армируются ламинатом на основе углеродного волокна и эпоксидной матрицы;

2) усиление балок перекрытия (основной дефект – повреждение насекомыми на отдельных участках) – в растянутой зоне наклеиваются композитные ламинаты из углеродного волокна на эпоксидной матрице; для обеспечения огнестойкости данной конструкции в нижней зоне дополнительно приклеиваются ламели древесины толщиной порядка 25 мм;

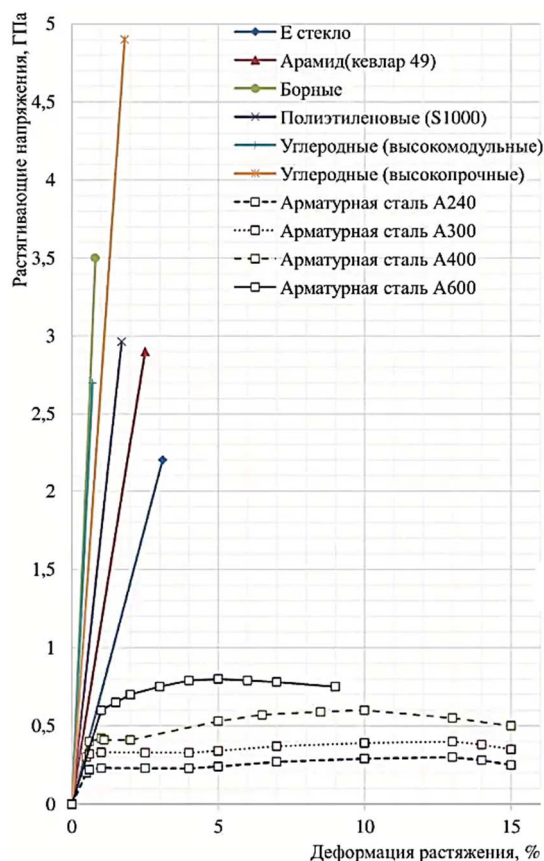


Рисунок 4 – Основная диаграмма деформирования композитных материалов в сравнении с основными арматурными сталями

3) усиление перекрытия здания – в качестве армирующего материала используются композитные ламели из углеволокна на эпоксидной матрице; для обеспечения огнестойкости производится установка дополнительного слоя древесины;

4) усиление балок перекрытия (основной дефект – чрезмерные прогибы конструкции пола) – осуществляется установка углеродных ламелей на эпоксидном клее в заранее устроенные пазы в деревянных конструкциях [5];

5) усиление балочного перекрытия (основной дефект – образование трещин) – в растянутой зоне балочной конструкции используются однонаправленные углеродные ленты с одновременным усилением сжатой зоны путем установки дополнительной балки, заключенной в обойму из композитных материалов;

6) усиление балок перекрытия – испытываются существующие конструкции, после чего осуществляется их усиление путем наклеивания в растянутой зоне однонаправленных углеродных лент на эпоксидной матрице и установкой дополнительных поперечных хомутов по длине всей конструкции; несущая способность при этом увеличивается, а деформативность снижается [5];

7) усиление обычной стропильной системы в складском здании (основной дефект – деструкция древесины опорных зон вследствие переувлажнения балочных конструкций) – выполняется путем протезирования опорных частей (установки участка здоровой древесины на вклеенных стержнях из стеклопластиковой арматуры); использование стеклопластика в такой системе обусловлено повышенной коррозионной стойкостью данных элементов, что обеспечивает дальнейшую эксплуатационную надежность конструкций [6];

8) усиление прогонов покрытия (дефекты возникли из-за ненадлежащих условий складирования и хранения клеёных конструкций) – обеспечивается дополнительное усиление опорных зон (установка под углом хомутов из однонаправленных углеродных лент для повышения сдвиговой прочности опорных сечений), а также армирование пролётной зоны данной балочной конструкции; для обеспечения надежности на соединение армирующего материала в растянутой зоне были установлены дополнительные поперечные хомуты из углеродного холста [6].

Основные проблемы, препятствующие широкому внедрению композитных систем внешнего армирования деревянных конструкций:

- отсутствие четкой нормативной базы, регулирующей применение данных композитных материалов;
- высокая стоимость полимерных композитов на основе углеродного и арамидного волокна по сравнению с традиционными материалами (сталь и т.д.);
- особенности анатомического строения древесины (низкая форма стабильности поперечных сечений при переменном температурно-влажностном режиме);
- низкая огнестойкость композитных систем внешнего армирования (необходима дополнительная защита данных систем путём установки дополнительных ламелей на термоустойчивых клеях) [7, с. 76] и т.д.

Таким образом, усиление деревянных конструкций наклеиванием композиционных материалов позволяет увеличить их несущую способность и прочность, продлить срок эксплуатации всего сооружения, а также снизить деформативность элементов. Одним из наиболее эффективных способов повышения несущей способности конструкций является внешнее армирование углепластиком. В строительстве композитные материалы на углеродной основе применяются для повышения качества и надежности, а также снижения трудоемкости, энергоемкости и материалоемкости. Разработка новых методов усиления и восстановления эксплуатационной надежности конструкций зданий и сооружений является одним из основных и перспективных направлений совершенствования реконструкции.

Литература

1. Бадьин Г.М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 85 с.
2. Келемешев А.Д. Обследование и усиление зданий : учебное пособие для студентов специальности 5В072900 – «Строительство». – Алматы : КазГАСА, 2011. – 98 с.
3. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. – М. : Стройиздат, 2007. – 184 с.
4. Леонова А.Н., Курочка М.В. Структурные дефекты в пространственно-армированных композитах и их влияние на свойства материалов : Девелопмент и инновации в строительстве / сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 132–136.
5. Система внешнего армирования. – URL : <http://www.hccomposite.com/catalog/54/> (дата обращения: 26.04.2020).
6. Усиление строительных конструкций. – URL : <http://rosmax.com.ua/blog/usilenie-stroitelnyih-konstruktsiy/> (дата обращения: 25.04.2020).
7. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами : Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах / Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 75–79.

References

1. Badiin G.M., Sychev S.A. Modern technologies of building construction and reconstruction. – St. Petersburg : BHV Petersburg, 2013. – 85 p.
2. Kelemeshev A.D. Surveying and strengthening of buildings : a textbook for students of specificity 5B072900 – «Construction». – Almaty : KazGASA, 2011. – 98 p.
3. Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. External reinforcement of reinforced concrete structures by composite materials. – M. : Stroizdat, 2007. – 184 p.
4. Leonova A.N., Kurochka M.V. Structural defects in the spatially reinforced compositions and their influence on the materials properties : Development and innovation in construction / a collection of articles of the International Scientific and Practical Congress. – 2018. – P. 132–136.
5. External reinforcement system. – URL: <http://www.hccomposite.com/catalog/54/> (date of address: 26.04.2020).
6. Reinforcement of building structures. – URL : <http://rosmax.com.ua/blog/usilenie-stroitelnyih-konstruktsiy/> (date of address : 25.04.2020).
7. Tarovik V.V., Leonova A.N. Modern methods of strengthening building structures with carbon composite materials : Actual issues of urban construction, architecture and design in resort regions / Proceedings of the Second All-Russian scientific-practical conference. – 2015. – P. 75–79.