

Усиление CLT-панелей композитными материалами

Т.В. Потапова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: статья посвящена вопросу усиления CLT-панелей (cross-laminated timber panels) из перекрестно-клееной древесины композитными материалами. Данная тема является актуальной в связи с активным развитием строительства многоэтажных зданий с применением несущих деревянных конструкций. С 2019 года в России допускается проектирование жилых домов высотой до 28 метров включительно, с использованием CLT-панелей. В статье освещен отечественный и зарубежный опыт возведения деревянных высотных зданий. Проанализированы результаты исследований, посвященных усилению нижней поверхности изгибаемых CLT-панелей с различным количеством слоев тканями и ламелями на основе углеродных, базальтовых и льняных волокон. Сделан вывод о необходимости дальнейшего изучения данного вопроса с учетом свойств различных композитных материалов, а также классов и пород древесины.

Ключевые слова: внешнее армирование, высотное здание, деревянная конструкция, древесина, композит, ламель, перекрестно-клееная древесина, углеволокно, усиление, CLT-панель

В настоящее время одним из активно развивающихся направлений является строительство зданий, в том числе многоэтажных, с применением CLT-панелей (cross-laminated timber panels) из перекрестно-клееной древесины, которые могут выступать в качестве несущих и ограждающих конструкций стен, перекрытий и кровли.

CLT-панели представляют собой массивные плиты из 3-11 слоев досок, цельных или соединенных по длине на зубчатый шип. Направление волокон каждого слоя перпендикулярно предыдущему.

Данные конструкции начали внедряться в Европе в середине 1990-х годов и в настоящий момент широко используются при строительстве жилых и общественных объектов [1-2]. В марте 2019 года в городе Брумунддал, Норвегия, была возведена 18-этажная, 85,4-метровая гостинично-офисная башня Mjøstårnet («Башня Мьёс»), являющаяся на сегодняшний день самым высоким деревянным зданием в мире. Все его структурные элементы, за исключением колонн из клееного бруса, были изготовлены из CLT-панелей.

В апреле 2019 года в Вене, Австрия, было возведено 24-этажное, 84-метровое офисно-жилое здание НоНо Wien с каркасом из CLT, занимающее второе место в мире по высоте.

В России, согласно утвержденному в 2019 году СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования», допускается проектирование домов высотой до 28 метров включительно с несущими и ограждающими конструкциями из перекрестно-клееной древесины [2]. В 2022 году в городе Сокол Вологодской области из CLT был построен жилой комплекс «Соколики» из двух четырехэтажных, 15-метровых зданий.

К преимуществам CLT-панелей относятся: малый вес, заводское изготовление, скорость и простота монтажа, высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, сейсмостойкость, огнестойкость, экологичность, пригодность к вторичной переработке, возможность использования несортной древесины [3-5].

Целью статьи является анализ методов усиления изгибаемых CLT-панелей композитными материалами. Способами повышения несущей способности CLT-панели являются увеличение числа входящих в нее слоев, либо включение в состав конструкции стали или железобетона [6]. Использование композитных материалов позволяет добиться улучшения физических характеристик конструкции без значительного изменения ее размеров [7]. Данный способ широко применяется для усиления деревянных элементов, однако вопрос его эффективности в отношении CLT-панелей на данный момент является недостаточно изученным.

В работе Li H., Wang L., Wei Y. и др. [6] приводятся результаты испытаний на поперечный изгиб 16 трехслойных CLT-панелей размерами 2940x300x105 мм, изготовленных из древесины тсуги западной (семейство сосновых).

Было рассмотрено 7 различных вариантов усиления нижней поверхности образцов композитными материалами: тканями на основе углеродных и базальтовых волокон (в 1, 2 и 3 слоя) и комбинированной, двухслойной тканью с внешним углеродным и внутренним базальтовым слоем. Модуль упругости базальтового композита был равен 86,99 ГПа, предел прочности при растяжении – 2,11 ГПа; углеволокна – 229,15 ГПа и 3,32 ГПа соответственно.

В результате проведения испытаний было установлено увеличение несущей способности на 1,4%, 8,8% и 10% при применении 1, 2 и 3 слоев базальтовой ткани и на 3%, 10,5% и 23,8% при использовании углеродной. Для комбинированного материала это значение составило 13,1%. Жесткость образцов возросла на 2,5%, 11,7% и 14,1% с базальтовой, на 6,7%, 13,5%, 18,4% с углеродной и на 8,2% с комбинированной тканью.

Разрушение панелей носило хрупкий характер и происходило по среднему слою, вследствие скалывания поперек волокон или в результате расслоения. Как и в случае с элементами из цельной древесины, усиление уменьшило влияние дефектов в растянутой зоне, которые привели к возникновению трещин в нижнем слое контрольных образцов [8]. При этом нарушения целостности или отслоения композитного материала отмечено не было. Поэтому, для наиболее полного использования свойств усиления, было предложено повышение прочности среднего слоя CLT-панелей.

По результатам проведения исследования, авторами рекомендовано применение минимум двух слоев композитного материала, а также использование комбинированной ткани, являющейся эффективной и более экономичной при меньшем относительном объеме усиления.

Аналогичный характер разрушения образцов наблюдался в ходе исследования Song Y.-J., Lee I.-H., Song D.-B. и др. [9]. На поперечный изгиб было испытано 15 трехслойных CLT-панелей из древесины лиственницы

размерами 2500x275x106,5 мм. Пять образцов были усилены по всей нижней поверхности углепластиковой ламелью толщиной 1,2 мм. Еще пять образцов были усилены углепластиковыми стержнями прямоугольного сечения размерами 12,5x6,5 мм, вставленными в пазы на нижней поверхности панелей. Также было испытано пять контрольных образцов. Модуль упругости углепластика составлял 487 ГПа, предел прочности при растяжении – 2,557 ГПа.

В панелях, усиленных ламелями, было отмечено увеличение прочности на 48% и жесткости на 27%. При этом в таких образцах разрушение происходило по среднему слою, в контрольных и усиленных стержнями – по нижнему слою. При использовании стержней прочность и жесткость панелей возросли на 8-9%.

Авторами Valdes M., Giaccu G. F., Meloni D. и др. [10] были исследованы CLT-панели, усиленные тканью на основе растительных волокон, являющихся экономичным, экологичным, биоразлагаемым и возобновляемым материалом.

Были проведены испытания на изгиб 34 CLT-панелей из сосны приморской: трехслойных размерами 1280x240x60 мм, усиленных одним и двумя слоями двунаправленной композитной ткани на основе льняных волокон, пятислойных габаритами 2000x240x100 мм с одним слоем усиления, а также контрольных образцов. Модуль упругости материала усиления был равен 20 ГПа, предел прочности при растяжении составлял 0,459 ГПа.

Наибольшую эффективность показало усиление нижней поверхности трехслойных панелей одним и двумя слоями композитного материала. Несущая способность образцов увеличилась на 63% и 73%, жесткость – на 37% и 28% соответственно. При этом, по величине несущей способности, усиленные трехслойные CLT-панели приблизились к неусиленным

пятислойным. Усиление пятислойных панелей не привело к значительному улучшению их механических характеристик.

Хрупкое разрушение образцов произошло вследствие возникновения трещин в растянутой зоне сечения, в одном из образцов – от скалывания поперек волокон древесины в среднем слое панели.

Авторами статьи отмечается целесообразность применения композитного материала на основе натуральных волокон для усиления трехслойных CLT-панелей. Данное решение может являться альтернативой панелям с пятью слоями, что позволит уменьшить толщину элементов и повысить экологичность их производства.

По результатам анализа указанных работ можно сделать вывод об эффективности применения композитных материалов для усиления CLT-панелей как в процессе эксплуатации, так и на этапе изготовления для сокращения количества слоев в конструкции. Наибольший интерес представляет усиление трехслойных панелей однонаправленными и двунаправленными композитными тканями. Применение высокомодульных углеродных волокон является эффективным, но дорогостоящим способом, поэтому актуально проведение дальнейших исследований в данной области с изучением альтернативных композитных материалов, а также различных классов и пород древесины.

Литература

1. Щелокова Т.Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №6. С. 39-45. URL: doi.org/10.12737/article_5b115a65781d87.13857188.
2. De Araujo V., Christoforo A. The global cross-laminated timber (CLT) industry: a systematic review and a sectoral survey of its main developers // Sustainability, 2023, vol. 15 URL: doi.org/10.3390/su15107827.

3. Есауленко И.В. Перспективы развития высотного деревянного домостроения в России на примере зарубежного опыта // Архитектура, строительство, транспорт. 2021. №4. С. 17-25. URL: doi.org/10.31660/2782-232X-2021-4-17-25.
 4. Рогожина А.В. Расчет деформативности CLT-панели перекрытия // Инженерный вестник Дона, 2022, №6 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7690.
 5. Lv Q., Wang W., Liu Y. Flexural performance of cross-laminated bamboo (CLB) slabs and CFRP grid composite CLB slabs // Advances in Civil Engineering, 2019, vol. 2019 URL: doi.org/10.1155/2019/6980782.
 6. Li H., Wang L., Wei Y. et al. Out-of-plane bending behavior of cross-laminated timber members enhanced with fiber-reinforced polymers // Journal of Building Engineering, 2023, vol. 66 URL: doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105862.
 7. Клюкин А.А. Опыт исследования зарубежных инженеров по усилению деревянных конструкций композиционными материалами // Инженерный вестник Дона, 2022, №5 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7680.
 8. Потапова Т.В. К вопросу об усилении эксплуатируемых деревянных конструкций композитными материалами // Инженерный вестник Дона, 2022, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7533.
 9. Song Y.-J., Lee I.-H., Song D.-B. et al. Evaluation of delamination and bending performance of composite CLT reinforced with CFRP // Wood and Fiber Science, 2019, vol. 51 (4) URL: swst.org/wp/wp-content/uploads/2019/10/wfs2832.pdf.
 10. Valdes M., Giaccu G. F., Meloni D. et al. Reinforcement of maritime pine cross-laminated timber panels by means of natural flax fibers // Construction and Building Materials, 2020, vol. 233 URL: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117741.
-

References

1. Schelokova T.N. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. 2018. №6. Pp. 39-45.
URL: doi.org/10.12737/article_5b115a65781d87.13857188.
2. De Araujo V., Christoforo A. Sustainability, 2023, vol. 15. URL:
doi.org/10.3390/su15107827
3. Esaulenko I.V. Arkhitektura, stroitel'stvo, transport. 2021. №4. Pp. 17-25.
URL: doi.org/10.31660/2782-232X-2021-4-17-25.
4. Rogozhina A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №6. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7690.
5. Lv Q., Wang W., Liu Y. Advances in Civil Engineering, 2019, vol. 2019
URL: doi.org/10.1155/2019/6980782.
6. Li H., Wang L., Wei Y. et al. Journal of Building Engineering, 2023, vol. 66
URL: doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105862.
7. Klyukin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №5. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7680.
8. Potapova T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №3. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7533.
9. Song Y.-J., Lee I.-H., Song D.-B. et al. Wood and Fiber Science, 2019, vol.
51 (4). URL: swst.org/wp/wp-content/uploads/2019/10/wfs2832.pdf.
10. Valdes M., Giaccu G. F., Meloni D. et al. Construction and Building
Materials, 2020, vol. 233 URL: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117741.