

УДК 624.011.14

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-104-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-104-116)

EDN: PMMLIN

СТОЙКОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПЕРЕКРЕСТНОКЛЕЕНОЙ К АТМОСФЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

П.Н. СМИРНОВ, канд. техн. наук

К.А. УСТИМЕНКО✉

А.Д. ЛОМАКИН, канд. техн. наук

К.А. АКСЕНОВ

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Древесина перекрестноклееная (ДПК/CLT) начинает завоевывать рынок в России. Важную роль в обеспечении эксплуатационной надежности конструкций зданий с применением деревянных конструкций играет влажность. Отсутствие комплексных исследований влияния переменных температурно-влажностных воздействий, в том числе атмосферных, тормозит развитие ДПК/CLT.

Целью исследования было определить влияние атмосферных воздействий на различные типы конструкций зданий из ДПК/CLT и внести дополнения в требования по проектированию и защите конструкций из ДПК/CLT в СП 64.13330.2017.

Материалы и методы. Материалом исследования являлись образцы стеновых панелей и плит перекрытия из ДПК/CLT, изготовленные в соответствии с требованиями действующей нормативной документации. Для исследования разработаны полигонные методы испытаний по определению влияния атмосферных воздействий на прочностные и упругие характеристики плит ДПК/CLT.

Результаты. Атмосферные воздействия негативно влияют на прочностные и упругие характеристики плит ДПК/CLT. Снижение прочностных и упругих характеристик различно для образцов плит перекрытий и стеновых панелей.

Выводы. На основании анализа результатов экспериментальных исследований стойкости ДПК/CLT к атмосферным воздействиям составлен ряд рекомендаций, которые предлагается включить в СП 64.13330.2017 для соблюдения при проектировании, изготовлении и строительстве зданий с применением конструкций из ДПК/CLT.

Ключевые слова: деревянные конструкции, слой древесины, древесина перекрестноклееная (ДПК/CLT), переменные температурно-влажностные воздействия, прочностные и упругие характеристики, защитные лакокрасочные покрытия

Для цитирования: Смирнов П.Н., Устименко К.А., Ломакин А.Д., Аксенов К.А. Стойкость древесины перекрестноклеенной к атмосферным воздействиям. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;35(4):104–116. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-104-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-104-116)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнялось за счет средств ФАУ «ФЦС» в 2021 году.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.10.2022

Поступила после рецензирования 01.11.2022

Принята к публикации 08.11.2022

RESISTANCE OF CROSS-LAMINATED TIMBER TO ATMOSPHERIC ACTIONS

P.N. SMIRNOV, Cand. Sci. (Engineering)

K.A. USTIMENKO✉

A.D. LOMAKIN, Cand. Sci. (Engineering)

K.A. AKSENOV

*Research Institute of Building Construction (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction,
2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation*

Abstract

Introduction. Cross-laminated timber (CLT) has started to win a market in Russia. Humidity plays an important role in ensuring the operational reliability of buildings based on timber structures. The lack of comprehensive studies on the influence of varying temperature and humidity actions, including atmospheric ones, hinders the development of CLT.

Aim. In this work, the influence of atmospheric actions on various types of CLT building structures was determined in order to amend the requirements in SP 64.13330.2017 for the design and protection of CLT structures.

Materials and methods. Samples of CLT wall panels and floor slabs manufactured as per the current regulatory documents were used as an object of research. Field tests were developed in order to determine the influence of atmospheric actions on the strength and elastic characteristics of CLT panels.

Results. Atmospheric actions have an adverse effect on the strength and elastic characteristics of CLT panels. The decrease in the strength and elastic characteristics varies for the samples of floor slabs and wall panels.

Conclusion. It is proposed that several recommendations given based on the experimental results on the resistance CLT to atmospheric actions are to be included in SP 64.13330.2017 for the design, manufacture, and construction of buildings using CLT structures.

Keywords: timber structures, wooden layer, cross-laminated timber (CLT), variable temperature and humidity actions, strength and elastic characteristics, protective paint coatings

For citation: Smirnov P.N., Ustimenko K.A., Lomakin A.D., Aksenov K.A. Resistance of cross-laminated timber to atmospheric actions. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):104–116. [In Russ.] [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-104-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-104-116)

Author contribution statements

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

The research was supported by FAO FCS in 2021.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.10.2022

Revised 01.11.2022

Accepted 08.11.2022

Введение

Древесина перекрестноклееная (ДПК/CLT) – новый материал, который в настоящее время широко применяется для деревянного домостроения в Европе и Северной Америке. ДПК/CLT позволяет строить многоэтажные здания из несущих деревянных панелей и дополняет существующие технологии каркасных и брусчатых деревянных домов. Областью применения конструкций из ДПК/CLT являются здания и сооружения, для которых традиционно используются бетонные, каменные и стальные конструкции.

ДПК/CLT – материал из цельной древесины, который был впервые применен в середине 1990-х годов в Австрии и Германии. Конструкции из ДПК/CLT стали завоевывать популярность и применяться в жилых и нежилых зданиях в других странах Европы, Канаде и Соединенных Штатах Америки.

Обзор опыта применения ДПК/CLT во многих странах показал эффективность применения и большой потенциал использования данного вида строительных конструкций при возведении зданий и сооружений различного назначения.

В России действует несколько предприятий по производству ДПК/CLT, крупнейшими из которых являются запущенные в 2021 году заводы Ладожский ДСК производственной мощностью до 120 000 м³ в год и «Сокол CLT» мощностью 50 000 м³ в год. До этого момента из-за отсутствия производственной базы исследования в области ДПК/CLT в России практически не проводились. В 2020 году в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко при поддержке Segezha Group начали проводить комплексные исследования ДПК/CLT, одной из задач которых являлось определение стойкости данного материала к температурно-влажностным воздействиям.

Важную роль в обеспечении эксплуатационной надежности деревянных конструкций зданий играет влажность. Это связано с тем, что долговечность древесины может быть снижена из-за постоянного присутствия влаги, в то время как большие колебания относительной влажности воздуха также могут влиять на стабильность размеров и механические характеристики данного материала. Несмотря на то что влияние влажности для деревянных конструкций является установленным фактом, остается вопрос влагостойкости плит ДПК/CLT, включая то, как быстро они намокают и сохнут, и как воздействие влаги влияет на их долговечность.

На заводе-изготовителе конструкции из ДПК/CLT, как правило, не подвергаются влагозащитной обработке из-за особенностей технологии производства. Увлажнение конструкций на этапе монтажа неизбежно. Отсутствие комплексных исследований влияния переменных температурно-влажностных воздействий, в том числе атмосферных, сделало актуальной данную задачу для необходимости установления минимальных требований к защите конструкции из ДПК/CLT.

Конструктивные особенности ДПК/CLT

ДПК/CLT состоит из продольных и поперечных слоев. Ламели прилегающих слоев склеиваются ортогонально. Древесина имеет разную степень набухания и усадки в тангенциальном и радиальном направлениях. Общеизвестно, что отношение набухания и усадки в тангенциальном направлении примерно в два раза больше, чем в радиальном направлении.

И поскольку ламели смежных слоев в ДПК/CLT склеены ортогонально, разрушения ламелей, такие как продольные трещины и расслоения, могут проявляться, когда ДПК/CLT подвергается переменным температурно-влажностным воздействиям.

Расположение слоев ДПК/CLT вызывает неравномерное набухание и усадку между соседними слоями по толщине плиты, что впоследствии вызывает деформацию панели, ее коробление, расслоение и растрескивание.

Обзор зарубежных исследований стойкости CLT к температурно-влажностным воздействиям

В Японии проводилось обследование построенных зданий через 2–3 года после завершения строительства [1]. Результаты показали, что деформация ДПК/CLT при намокании примерно в два раза больше, чем у клееного бруса. ДПК/CLT имеет большую усадку и набухание, чем клееный брус. Кроме того, было установлено, что при температурно-влажностном воздействии у панелей ДПК/CLT было обнаружено множество трещин, в том числе по пласти и по кромке в клеевых швах. В результате исследований влияния лакокрасочного покрытия на атмосферостойкость ДПК/CLT установлено, что деформации и насыщение влагой для образцов, защищенных лессирующими составами и незащищенных, практически одинаковы, в то время как для образца с нанесенным пленкообразующим составом деформации и водонасыщение в разы меньше.

В лаборатории экологических строительных материалов Университета штата Орегон под руководством Эвана Шмидта была проведена работа по определению гигротермических характеристик панелей ДПК/CLT [2]. В климатической камере имитировались различные температурно-влажностные воздействия. Испытаниям подвергались образцы двух типов пятислойной ДПК/CLT, изготовленные из древесины смешанных пород. В этих образцах использовался клей на основе меламиновой смолы, устойчивый к воде и атмосферным воздействиям. Результаты показали, что в образце в условиях воздействия, имитирующих смачивание кровли или панели перекрытия, внутренние слои имеют очень низкий коэффициент увлажнения. И наоборот, в вертикальном образце без обработки торцевой поверхности коэффициент увлажнения внутренних слоев панели выше. Внутреннее напряжение привело к явной трещине в одном образце и сдвигу клеевого шва в другом образце. Таким образом установлено, что перекрестное расположение слоев, стабилизирующее размеры ДПК/CLT, приводит к большим граничным напряжениям по поверхности. Со временем эти усушечные трещины могут распространяться дальше внутрь: по мере того как напряжения развиваются, ослабляются и циклически повторяются, возникает так называемый эффект «застежки-молнии», в результате чего трещины распространяются, чтобы уравновесить напряжения.

Арме Гурзов из Швейцарии [3] определял модуль упругости и модуль сдвига в образцах панелей европейской ели после года выдержки в переменных температурно-влажностных условиях. В ходе испытания установлено, что из-за образования трещин во всех слоях после возвращения к первоначальной влажности древесины исходные значения модуля упругости и модуля сдвига уже не восстанавливаются.

Исследования по данной тематике проводили Линг Ванг в Канаде [4], Стивен Кордзил в США [5, 6], Йохан Оберг и Эрик Вейг [7], Ларс Олссон в Швеции [8]. Это указывает на актуальность проблем влияния атмосферных воздействий на ДПК/CLT.

Проведение экспериментальных исследований

В ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко в 2021 году проведены работы по определению влияния переменных температурно-влажностных и эксплуатационных воздействий на прочностные и упругие характеристики стеновых панелей и плит перекрытия из ДПК/CLT.

Для возможности проведения исследования разработаны методы испытаний по определению влияния атмосферных воздействий на прочностные и упругие характеристики плит ДПК/CLT, определено влияние защитных лакокрасочных покрытий (ЛКП) на прочностные и упругие характеристики плит ДПК/CLT в атмосферных условиях.

Оценка влияния эксплуатационных воздействий на прочностные и упругие характеристики производилась с помощью сравнения величин прочностных и упругих характеристик стеновых панелей и плит перекрытия из ДПК/CLT до и после увлажнения.

Образцы стеновых панелей и плит перекрытия были изготовлены из ДПК/CLT панелей производства ООО «Сокол СиЭлТи» в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56706–2015 «Плиты клееные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев. Технические условия». Для изготовления образцов использовали древесину сосны плотностью (450 ± 10) кг/м³ и влажностью 10,0–12,0 %. Размеры образцов принимали исходя из требований ГОСТ Р 59784–2022 «Плиты из перекрестноклееной древесины. Методы определения прочностных и упругих характеристик».

Для определения влияния атмосферных воздействий на физико-механические характеристики ДПК/CLT использовались две группы образцов: первая – для определения изменения условного модуля упругости и предела прочности на скалывание, вторая – для определения изменения модуля сдвига в плоскости плиты и предела прочности на скалывание.

Образцы в количестве 35 штук были разделены на 7 серий, 3 из которых контрольные и 4 подвергались атмосферным воздействиям (табл. 1).

Одна из серий образцов обработана защитным ЛКП. Для этого использовалась бесцветная грунтовка-антисептик на водной основе BELINKA IMPREGNANT с дальнейшим нанесением атмосферостойкого лака BELINKA EXTERIER.

Таблица 1

Образцы для определения влияния атмосферных воздействий на физико-механические характеристики CLT

Table 1

Samples for determining influence of atmospheric actions on physical and mechanical characteristics of CLT

Группа образцов	Серия	Размеры образца, мм	Кол-во слоев, шт.	Размер ламели, мм	Направление наружных слоев	Примечание
1	1	120 × 780 × 1200	3	40 × 195	Продольное	Контрольная
	2	120 × 780 × 1200	3	40 × 195	Продольное	
	3	120 × 780 × 1200	3	40 × 195	Продольное	С ЛКП
2	4	120 × 360 × 1080	3	40 × 90	Под углом 45°	Контрольная
	5	120 × 360 × 1080	3	40 × 90	Под углом 45°	
	6	120 × 360 × 1080	5	20 × 90, 30 × 90	Под углом 45°	Контрольная
	7	120 × 360 × 1080	5	20 × 90, 30 × 90	Под углом 45°	

Методика испытаний основана на требованиях ГОСТ 6992–68 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Метод испытаний на стойкость в атмосферных условиях». Испытания проходили на атмосферной площадке лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» по адресу: г. Москва, 2-я Институтская ул., дом 6, территория АО «НИЦ «Строительство» (рис. 1). Атмосферная площадка располагается на открытом воздухе на земле и оборудована испытательными стендами, изготовленными из материала, не оказывающего воздействия на испытываемые образцы, и установлены так, чтобы тень от одного стенда не падала на другой.

При проведении испытаний использовались данные метеорологических наблюдений близлежащей гидрометеорологической станции (метеостанция ВДНХ) и данные логгера температуры и влажности воздуха Testo 175H1 (табл. 2), установленного непосредственно на атмосферной площадке.

Образцы устанавливали на стендах горизонтально (аналогично способу хранения материала на строительных площадках) на высоте не менее 1 м над землей.

Осмотр образцов проводился два раза в месяц. При осмотре состояние покрытия определяли на обеих сторонах образца.

Образцы экспонировались на полигоне 56 дней с августа по октябрь 2021 года. Количество выпавших осадков за этот период составило 145,4 мм, что соответствует 68 % от нормы осадков за три месяца для Москвы за данный период (рис. 2).



Рис. 1. Атмосферная площадка лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

Fig. 1. Atmospheric field at a laboratory of load-bearing timber structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction

Таблица 2

Показания логгера температуры и влажности воздуха Testo 175H1

Table 2

Readings of temperature and humidity logger Testo 175H1

	Минимум	Максимум	Среднее значение
Влажность воздуха, %	29,1	95,9	74,33
Температура воздуха, °C	2,2	35,4	13,68

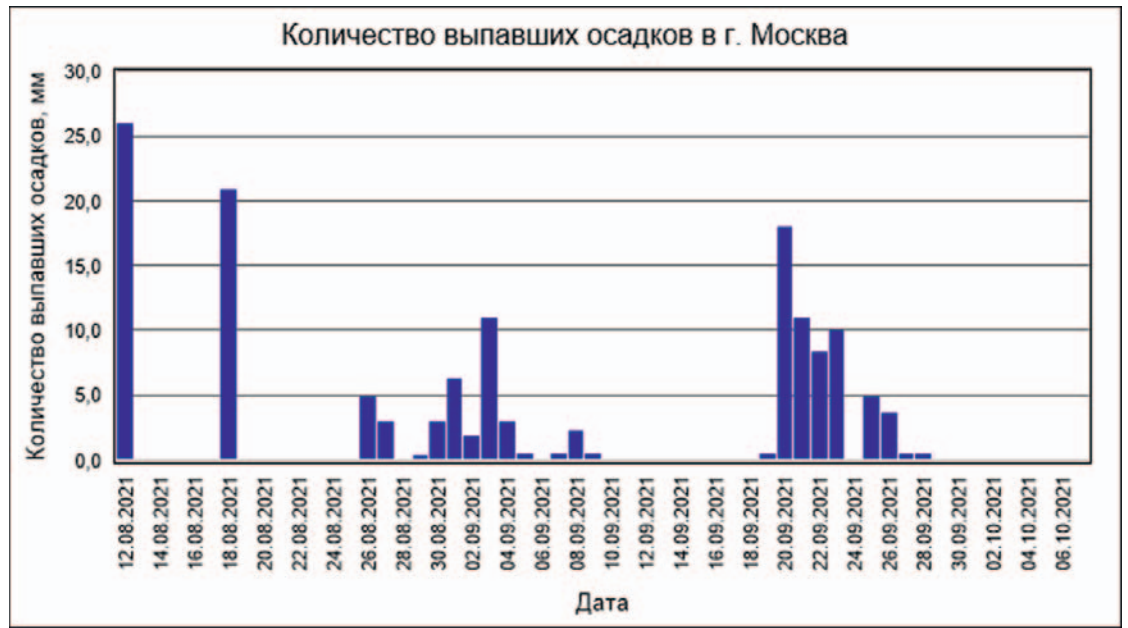


Рис. 2. График количества выпавших осадков в г. Москве
Fig. 2. Accumulated precipitation in Moscow

Испытания по определению физико-механических характеристик панелей ДПК/CLT проводились в стенде, нагрузка прикладывалась с помощью гидравлического домкрата мощностью 50 т (рис. 3).

Условный модуль упругости плиты определялся по результатам испытаний образцов по балочной схеме на трехточечный изгиб. Измерение деформаций выполнялось между опорами. Максимальная прикладываемая нагрузка на образец составляла 40 % от разрушающей нагрузки F_{max} , которая была определена путем предварительных испытаний. В процессе испытаний образца с помощью датчиков деформаций с ценой деления 0,01 мм, установленных на боковых поверхностях, фиксировались вертикальные перемещения при нагрузке $F_1 = 0,15F_{max}$ и $F_2 = 0,4F_{max}$.

Предел прочности на сдвиг по поперечному сечению плиты определялся по результатам испытаний образцов по балочной схеме на четырехточечный изгиб. Нагрузка к образцу прикладывалась ступенями равными $0,05F_{max}$ или $0,1F_{max}$ при постоянной скорости нагружения, при этом максимальная нагрузка F_{max} достигалась в интервале 140–380 с. Испытание образца



Рис. 3. Общий вид испытательного стенда. Испытания по определению условного модуля упругости (слева) и предела прочности на сдвиг по поперечному сечению плиты (справа)

Fig. 3. General view of a test bench. Nominal elastic modulus (left) and shear strength along panel cross-section (right)

выполнялось до его разрушения, в протоколе фиксировался характер разрушения и значение разрушающей нагрузки F_{max} . Для измерения деформаций прогиба по середине пролета устанавливались прогибомеры с точностью 0,01 мм.

Разрушение образцов ДПК/CLT с продольным расположением досок в наружных слоях при изгибе происходило от скалывания на опоре между ортогонально расположенными 2-м и 3-м слоями по направлению действия силы, при этом разрушение образцов, подвергшихся атмосферным воздействиям, происходило по краю, который был обращен к южной стороне при экспонировании.

При определении модуля сдвига в плоскости плиты G_{xy} использовались образцы в виде прямоугольных призм из трехслойных и пятислойных плит ДПК/CLT, выпиленных под углом $\alpha = 45^\circ$ к направлению волокон наружных слоев.

Испытания производились путем приложения сжимающей нагрузки по всей поверхности торца образца в направлении вдоль его длинной кромки, вызывающей деформации в материале, уровень которых соответствует линейно-упругой работе. Нагрузка, прикладываемая к образцу, составляла $0,4F_{max}$, где F_{max} – среднее значение разрушающей нагрузки образца, которое определялось путем предварительных испытаний.



Рис. 4. Общий вид испытательного стенда для определения модуля сдвига в плоскости плиты

Fig. 4. General view of a test bench for determining shear modulus in a panel plane

В процессе испытаний образцов с помощью четырех датчиков деформаций (перемещений), установленных на двух боковых поверхностях образца на базе $l_l = 300$ мм, фиксировались вертикальные u_v и горизонтальные u_z перемещения при нагрузке $F_1 = 0,1F_{max}$ и $F_2 = 0,4F_{max}$. Для измерения деформаций и использовались индикаторы часового типа (рис. 4).

При определении несущей способности плиты при сдвиге $f_{ск,90}$ (скалывание по пласти) использовались образцы в виде прямоугольных призм из трехслойных и пятислойных плит ДПК/CLT, выпиленных под углом 45° к направлению волокон наружных слоев. Нагрузка к образцу прикладывалась с постоянной скоростью, при этом максимальная F_{max} нагрузка достигалась через (300 ± 120) с.

Разрушение образцов плит ДПК/CLT происходило от сдвига в плоскости плиты и сопровождалось скалыванием по пласти древесины в среднем слое для трехслойных плит (рис. 5) и скалыванием древесины в направлении волокон в крайних слоях.

Разрушение пятислойных образцов плит ДПК/CLT происходило от сдвига в плоскости плиты и сопровождалось скалыванием по пласти древесины во 2-м и 4-м слоях (рис. 5) и скалыванием древесины в направлении волокон во 2-м и 4-м слоях.

Анализ результатов экспериментальных исследований стойкости ДПК/CLT к атмосферным воздействиям

После проведения механических испытаний определяли процент снижения условного модуля упругости и предела прочности на сдвиг по поперечному сечению по формулам:

$$\Delta_E = \left(1 - \frac{E_{lu,0}^{атм.}}{E_{lu,0}^{контр.}} \right) \times 100, \quad (1)$$

$$\Delta_R = \left(1 - \frac{R_{y,xz}^{атм.}}{R_{y,xz}^{контр.}} \right) \times 100, \quad (2)$$

где Δ_E и Δ_R – снижение величины условного модуля упругости и предела прочности на сдвиг по поперечному сечению соответственно, %;

$E_{lu,0}^{атм.}$ и $R_{y,xz}^{атм.}$ – условный модуль упругости и предел прочности на сдвиг по поперечному сечению соответственно, определенные для образцов после экспонирования на атмосферной площадке;

$E_{lu,0}^{контр.}$ и $R_{y,xz}^{контр.}$ – условный модуль упругости и предел прочности на сдвиг по поперечному сечению соответственно, определенные для контрольных образцов.

Для второй группы образцов после экспонирования на атмосферной площадке определяют процент снижения модуля сдвига в плоскости плиты и несущей способности плиты по формулам:



Рис. 5. Характер разрушения трехслойных (слева) и пятислойных (справа) плит ДПК/CLT при сдвиге в плоскости плиты

Fig. 5. Failure mode of three-layer (left) and five-layer (right) CLT panels in plane shear of panel

$$\Delta_G = \left(1 - \frac{G_{xy}^{атм.}}{G_{xy}^{контр.}} \right) \times 100, \quad (3)$$

$$\Delta_F = \left(1 - \frac{F_{v,90}^{атм.}}{F_{v,90}^{контр.}} \right) \times 100, \quad (4)$$

где Δ_G и Δ_F – снижение величины модуля сдвига в плоскости плиты и несущей способности плиты соответственно, %;

$G_{xy}^{атм.}$ и $F_{v,90}^{атм.}$ – модуль сдвига в плоскости плиты и несущая способность соответственно, определенные для образцов после экспонирования на атмосферной площадке;

$G_{xy}^{контр.}$ и $F_{v,90}^{контр.}$ – модуль сдвига в плоскости плиты и несущая способность соответственно, определенные для контрольных образцов.

Результаты испытаний приведены в табл. 3 и 4 для образцов первой и второй групп соответственно.

Из табл. 4 видно, что наиболее подвержены атмосферному воздействию трехслойные стеновые панели (серия 5). Имея начальный модуль сдвига в плоскости плиты на 7 % больше по сравнению с пятислойной панелью (15-я серия), после атмосферного воздействия модуль сдвига снизился на 35 % и стал на 22 % меньше, чем у пятислойной панели, подвергшейся аналогичным воздействиям. Снижение несущей способности на сдвиг в плоскости плиты для трехслойных панелей в 2 раза больше, чем для пятислойных – 18,7 % против 9 %.

Таблица 3

Изменение физико-механических характеристик при атмосферных воздействиях для образцов плит перекрытия из ДПК/CLT

Table 3

Variations in physical and mechanical characteristics under atmospheric actions for samples of CLT floor slabs

Контрольные значения				Значения после атмосферных воздействий				$\Delta_E, \%$	$\Delta_R, \%$
Серия	Средняя влажность серии, %	$E_{lu,0}^{контр.}$, МПа	$R_{y,xz}^{контр.}$, МПа	Серия	Средняя влажность серии, %	$E_{lu,0}^{атм.}$, МПа	$R_{y,xz}^{атм.}$, МПа		
1	11,0	5801	1,71	2	13,2	5769	1,57	0,6	8,2
1	11,0	5801	1,71	3	13,7	5262	1,89	9,3	-10,5

Таблица 4

Изменение физико-механических характеристик при атмосферных воздействиях для образцов стеновых панелей из ДПК/CLT

Table 4

Variations in physical and mechanical characteristics under atmospheric actions for samples of CLT wall slabs

Контрольные значения				Значения после атмосферных воздействий				$\Delta_G, \%$	$\Delta_F, \%$
Серия	Средняя влажность серии, %	$G_{ху}^{контр.}$, МПа	$f_{ск,90}^{контр.}$, МПа	Серия	Средняя влажность серии, %	$G_{ху}^{атм.}$, МПа	$f_{ск,90}^{атм.}$, МПа		
4	9,2	1291	2,52	5	12,3	837	2,05	35,2	18,7
6	10,4	1202	3,76	7	12,7	1072	3,42	10,8	9,0

По результатам проведенного анализа систематизированных экспериментальных данных по определению прочностных и упругих характеристик плит ДПК/CLT до и после атмосферных воздействий можно сделать вывод, что данные воздействия негативно влияют на прочностные и упругие характеристики плит ДПК/CLT. Снижение прочностных характеристик составляет 5–15 % для образцов плит перекрытия и 9–19 % для различных типов образцов стеновых панелей. Снижение упругих характеристик наблюдается у различных типов образцов стеновых панелей и составляет 10–35 %.

Установлено, что трехслойные панели наиболее подвержены данным воздействиям по сравнению с пятислойными.

Анализ результатов экспериментальных данных показывает, что ЛКП предотвращают влияние атмосферных воздействий на ДПК/CLT.

Выводы по результатам исследования

На основании анализа результатов экспериментальных исследований стойкости ДПК/CLT к атмосферным воздействиям, а также на основании анализа результатов экспериментальных исследований стойкости CLT к переменным температурно-влажностным воздействиям

предлагается внести дополнения в СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». Для конструкций из ДПК/CLT, не обработанных защитными ЛКП, при определении расчетного сопротивления предлагается применять понижающий коэффициент условий работы $m_k = 0,9$.

При проектировании зданий из ДПК/CLT рекомендуется использовать панели с количеством слоев 5 и более, а при изготовлении использовать ламели с соотношением сторон $b/h \leq 3$ или применять компенсационные прорези.

Также для защиты панелей ДПК/CLT от чрезмерного увлажнения во время строительства зданий рекомендуется применять следующие защитные мероприятия.

- 1) Производить защиту кромок ДПК/CLT панелей с помощью лакокрасочных покрытий или герметизирующих материалов (самоклеящихся лент, герметиков) на заводе-изготовителе.
- 2) Защищать поверхность плит перекрытия из ДПК/CLT лакокрасочными покрытиями на заводе-изготовителе.
- 3) Выполнять максимальную заводскую готовность конструкций для сведения к минимуму воздействие погодных факторов на время монтажа.
- 4) Доставку панелей из ДПК/CLT на объект осуществлять с учетом графика строительства.
- 5) Использовать навесы на время строительства.

Как и в случае с другими конструкциями из древесины, панели из ДПК/CLT должны защищаться от воздействия атмосферных осадков и других факторов увлажнения в процессе строительства и эксплуатации. Искусственная сушка конструкций из ДПК/CLT в здании возможна с использованием естественных и механических средств, но это требует привлечения квалифицированных специалистов и приведет к увеличению срока строительства.

Список литературы / References

1. Nakajima S., Sakabe Y., Kimoto S., Ohashi Y. Deterioration of CLT under Humid and Dry Cyclic Climate. In: XV International Conference on Durability of Building Materials and Components. Barcelona; 2020. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.030>
2. Schmidt E., Riggio M. Monitoring Moisture Performance of Cross-Laminated Timber Building Elements during Construction. Buildings. 2019;9(6):144. <https://doi.org/10.3390/buildings9060144>
3. Gülzow A., Richter K., Steiger R. Influence of wood moisture content on bending and shear stiffness of cross laminated timber panels. European Journal of Wood and Wood Products. 2011;69(2):193–197. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0416-z>
4. Wang J. Wetting and Drying Performance and On-site Moisture Protection of Nail-Laminated Timber Assemblies [internet]. FPIInnovations; 2016. Available at: <https://cwc.ca/wp-content/uploads/2020/08/Wetting-and-Drying-Performance-and-On-site-Moisture-Protection-of-Nail-Laminated-Timber-Assemblies-FPI-Wang-.pdf>
5. Kordziel S. Study of moisture conditions in a multi-story mass timber building through the use of sensors and WUFI hygrothermal modeling. Thesis for the degree of Master of Science [internet]. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, Available at: <https://hdl.handle.net/11124/172342>
6. Kordziel S., Glass S.V., Pei S., Zelinka S.L., Tabares-Velasco P.C. Moisture monitoring and modeling of mass timber building systems. In: Proceedings, WCTE 2018-World conference on timber engineering. Seoul: Korean Institute of Forest Science; 2018. 7 p.
7. Öberg J., Wiege E. Moisture risks with CLT-panels subjected to outdoor climate during construction - focus on mould and wetting processes. Graduate thesis [internet]. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology; 2018. Available at: <https://www.polygongroup.com/globalassets/svenska-sverige/bilder/kunskapstorget/oberg--wiege.-2018.-moisture-risks-with-clt-panels-subjected-to-outdoor-climate-during-construction-focus-on-mould-and-wetting-processes..pdf>
8. Olsson L. Moisture safety in CLT construction without weather protection – Case studies, literature review and interviews. In: E3S Web of Conferences. 2020;172:10001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017210001>

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Николаевич Смирнов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: spair23@list.ru

Pavel N. Smirnov, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Load-bearing Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: spair23@list.ru

Клим Александрович Устименко✉, старший научный сотрудник лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: klim-ldk@mail.ru

Klim A. Ustimenko✉, Senior Researcher of the Laboratory of Load-bearing Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: klim-ldk@mail.ru

Александр Давидович Ломакин, канд. техн. наук, заведующий сектором контроля и обеспечения качества деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lomakin0840@mail.ru

Aleksandr D. Lomakin, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Sector of Control and Quality Assurance of Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lomakin0840@mail.ru

Кирилл Александрович Аксенов, инженер лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: kirik39079@gmail.com

Kirill A. Aksenov, Engineer of the Laboratory of Load-bearing Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: kirik39079@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author