

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФАНЕРЫ

В. П. Ярцев, В. М. Данилов

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», vt.danilov1997@gmail.com;
ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: влажность; тепловое старение; термофлуктуация; УФ-облучение; фанера.

Аннотация: Представлены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных свойств фанеры, подверженной влиянию влаги, теплового старения, УФ-облучения. Для получения достоверных данных применена термофлуктуационная концепция прочности, позволяющая учитывать одновременное действие температуры, времени и нагрузки, а также дополнительные внешние воздействия. Выявлено, что климатическое старение губительно влияет на фанеру, а именно происходит разрыв связей между частицами, а затем и комплексное снижение прочности и сопротивляемости материала другим климатическим воздействиям. Установлено, что некоторые виды воздействий повышают значение жесткости фанеры, что вызывает хрупкий характер разрушения, при этом УФ-облучение незначительно повышает прочность вследствие возникновения экранирующего эффекта.

Введение

Одним из основных методов строительства жилых или небольших коммерческих сооружений является применение деревянных конструкций. В последние годы деревянное каркасное строительство стало растущей тенденцией отчасти из-за его экономической технологии строительства и широкой доступности материалов. Зачастую в качестве отделочного материала таких каркасов применяют фанеру [1, 2].

Фанера представляет собой слоистую клееную конструкцию, состоящую из трех и более листов древесины с взаимно перпендикулярным расположением волокон в смежных слоях. Это придает фанере повышенную прочность в различных направлениях, стабильность формы, что в свою очередь является большим преимуществом перед натуральной древесиной [3]. Фанера, как и натуральная древесина – материал, который легко поддается обработке. Поверхность фанеры обрабатывается разными способами: ламинирование, покрытие строганным шпоном, красками, лаками [4].

Изготавливают фанеру из древесины березы, ольхи, ясеня, ильма, дуба, липы, осины, тополя, клена, ели, сосны, пихты, кедра и лиственницы. Для склеивания применяют фенолформальдегидные, карбамидные и белковые клеи. Фанера состоит из наружных и внутренних слоев. Наружные слои подразделяются на ли-

цевой и оборотный, качество которых и определяет качество листа фанеры. Лицевой слой содержит меньше пороков древесины и дефектов обработки, чем оборотный и внутренний [5, 6].

Фанера, как и любой другой строительный материал, в большей либо меньшей степени подвергается влиянию внешних факторов. К ним можно отнести влагу, действие пониженных и повышенных температур, УФ-облучение, тепловое старение, внешние нагрузки и т.п. Действие внешних факторов приводит к ухудшению эксплуатационных свойств (прочности, теплостойкости и т.д.), то есть к старению материала [7, 8].

Методология проведения исследования

В данной работе для изучения влияния климатических воздействий на эксплуатационные свойства фанеры проведен комплекс исследований, включающий в себя пять типов эксперимента.

Первый эксперимент нацелен на выявление возможности нарушения связей в материале под действием УФ-облучения и теплового старения. Такая зависимость выявляется путем изучения поглощения материалом жидких сред и его набухания. Выбор воды в качестве исследуемой жидкой среды (как самой распространенной) обусловлен высоким ее влиянием на характеристики деревянных композитов [9].

Определение стойкости фанеры к действию УФ-облучения проводится в специальной камере искусственного фотостарения. Процесс теплового старения проводится путем тепловой обработки в сушильном шкафу. Водопоглощение и набухание материала по толщине определяются соответственно по формулам:

$$B = \frac{m_{\text{н}} - m_{\text{к}}}{m_{\text{н}}} 100 \%; \quad (1)$$

$$H = \frac{c_{\text{н}} - c_{\text{к}}}{c_{\text{н}}} 100 \%, \quad (2)$$

где $m_{\text{н}}$, $m_{\text{к}}$ и $c_{\text{н}}$, $c_{\text{к}}$ – масса и высота образцов соответственно до испытания и после его пребывания в воде, кг.

Второй эксперимент определяет влияние УФ-облучения и теплового старения на скорость набухания фанеры. Выявление скорости набухания определяется путем перестроения графоаналитическим дифференцированием в координаты логарифм скорости набухания от обратной температуры. Для их описания используется уравнение вида Аррениуса

$$w = w_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (3)$$

где w – скорость набухания, %; w_0 – предэкспоненциальный множитель, %/с; E – энергия активации (набухания или разбухания), кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); T – температура, К.

Третий эксперимент нацелен на выявление влияния УФ-облучения и набухания на термическое расширение фанеры. Дилатометрические исследования позволяют определять не только температуры фазовых переходов, но и исследовать влияние на них различных факторов (молекулярной массы, термической предыстории, скорости нагрева и т.д.). Вид дилатометрических кривых в области переходов зависит от структуры макромолекул и надмолекулярной структуры полимера, что позволяет исследовать характер переходов в сополимерах, разветвленных и сшитых полимерах, в системах «полимер – полимер» и «полимер – низкомолекулярное вещество» и т.д.

При повышенных температурах и замачивании происходит изменение размеров строительных конструкций, вызывающее в материале значительные термические или влажностные напряжения. Исследование заключается в построении дилатометрических графиков на основе экспериментальных данных [10]. Испытания проводятся на линейном дилатометре при постоянной скорости нагрева $1,65\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в свободном состоянии, после УФ-облучения и после замачивания в воде. По полученным кривым определяется коэффициент линейного термического расширения, $1/^\circ\text{C}$:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T}, \quad (4)$$

где l_0 – первоначальная длина образца, мм; Δl – удлинение образца, мм, при изменении температуры на величину ΔT , $^\circ\text{C}$.

Ввиду того что зависимости не являются прямолинейными, их разбивают на линейные участки, где для каждого участка находится α . Затем данный коэффициент усредняется и принимается как общий для всего графика.

Четвертый эксперимент определяет влияние температуры на прочность фанеры до и после УФ-облучения. Испытание заключается в поперечном изгибе элементов фанеры при различных температурах. Образцы ступенчато нагружаются на шестипозиционном стенде (рис. 1). Данный стенд состоит из рамы 1, которая выполнена из швеллеров. На опорной площадке рамы 2 установлены две роликовые опоры 3 на расстоянии друг от друга, равным пролету балки 50 мм. Образец 4 помещается на роликовые опоры и нагружается с помощью грузового устройства 5. Повышенная температура создается стержневыми электронагревателями 6. Для снижения теплопотерь и создания направленного теплового потока на опорную площадку установлен и закреплен на раме кожух 8. Температура задается лабораторным автотрансформатором 7, а регулируется потенциометром в диапазоне $0...300\text{ }^\circ\text{C}$ и дополнительно контролируется термометром с точностью $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. Следует отметить, что термopара и шарик термометра расположены в зоне разрушения рабочего участка образца. Для устранения механических колебаний при разрушении образцов использовалось демпфирующее устройство – заполненная песком емкость 9.

В ходе эксперимента фиксируется их критическая нагрузка. На основе экспериментальных данных строится график зависимости критического напряжения от температуры.

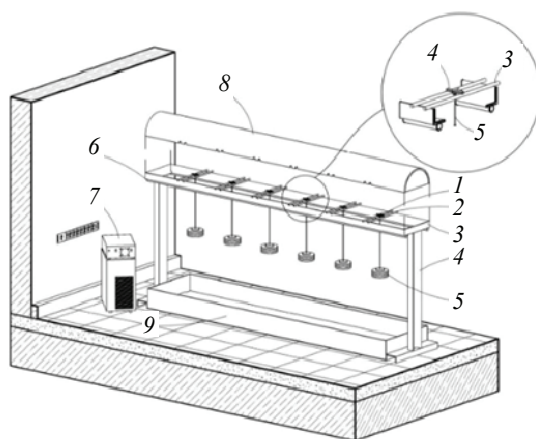


Рис. 1. Схема установки для проведения испытаний

Пятый эксперимент нацелен на изучение влияния влажности на долговечность фанеры. Предварительно образцы замачиваются в воде в течение 1 часа. Затем определяется их несущая способность при поперечном изгибе на шестипозиционном стенде, в режиме постоянных заданных температур и напряжений. Затем по полученным экспериментальным данным строится график в координатах логарифм долговечности от напряжения.

Результаты проведенного исследования

Вода существенно влияет на физико-механические характеристики древесных материалов, в том числе и на фанеру. Испытания проводились в воде при постоянных температурах (20, 40, 60 °С) до и после воздействия теплового старения и УФ-облучения. По полученным результатам построены кинетические кривые в координатах «водопоглощение – время выдержки в воде» (рис. 2) и «набухание – время выдержки в воде» (рис. 3). Кривые имеют экспоненциальный вид.

Из приведенных выше графиков видно, что наиболее сильно процессы набухания и водопоглощения протекают на начальном уровне (в течение 50...100 мин), после чего они замедляются, и наступает стабилизация. При этом на скорость процессов сильно влияет температура воды. Так, при ее нагреве до 60 °С величина водопоглощения фанеры увеличивается в 2 раза.

После воздействия теплового старения и УФ-облучения поведение фанеры в воде меняется. Из полученных результатов следует, что в фанере под действием УФ-облучения и теплового старения наблюдается нарушение связей между частицами, в результате чего материалы становятся менее восприимчивыми к действию воды.

Для определения характеристик водопоглощения фанеры построены графики зависимости скорости набухания от обратной температуры, имеющие вид прямых (рис. 4).

Предэкспонента определяется экстраполяцией данной прямой на ось ординат (скорость набухания), а энергия активации данного процесса определяется как тангенс угла наклона прямой. Полученные результаты представлены в табл. 1.

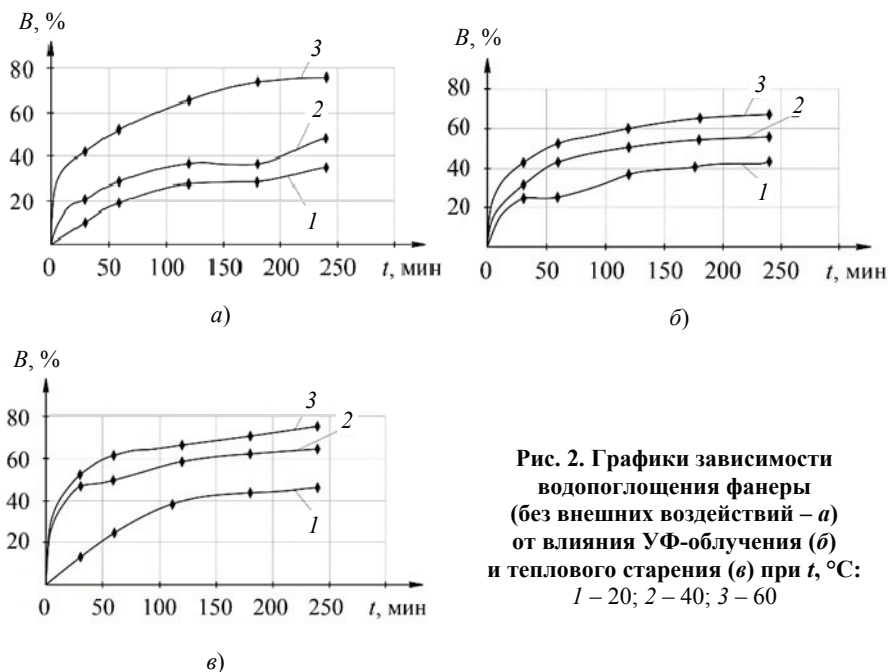


Рис. 2. Графики зависимости водопоглощения фанеры (без внешних воздействий – а) от влияния УФ-облучения (б) и теплового старения (в) при t , °С: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60

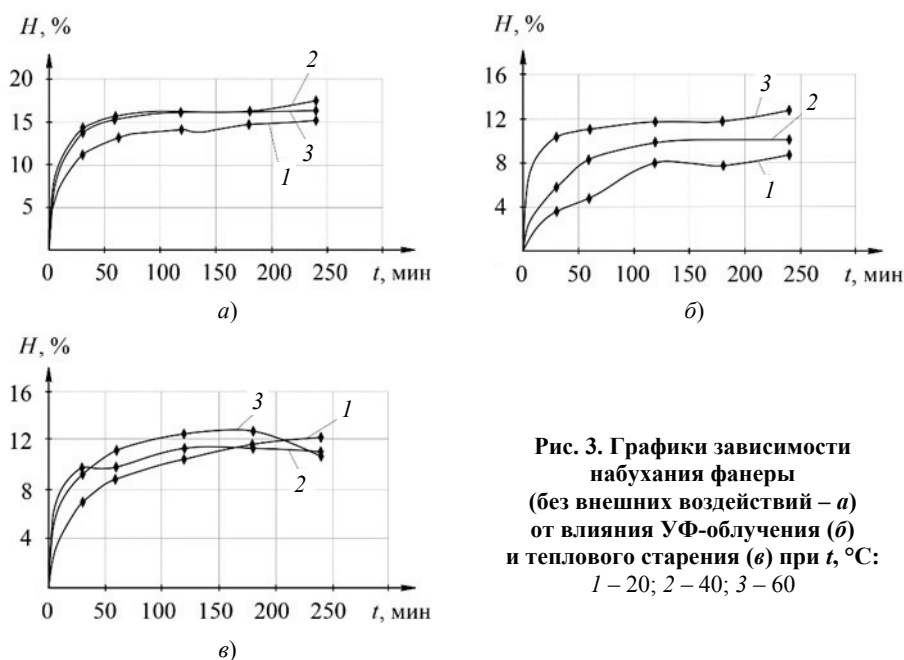


Рис. 3. Графики зависимости набухания фанеры (без внешних воздействий – а) от влияния УФ-облучения (б) и теплового старения (в) при $t, ^\circ\text{C}$: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60

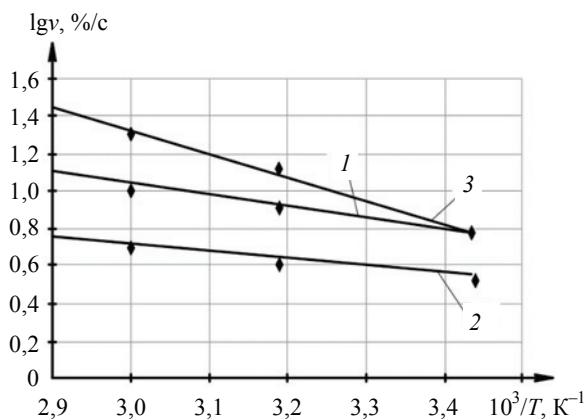


Рис. 4. Графики зависимости скорости набухания фанеры в воде от обратной температуры: 1 – без воздействий; 2 – УФ-облучение; 3 – тепловое старение

Таблица 1

Значения физических констант набухания фанеры

Тип воздействия	$E, \text{кДж/моль}$	$\lg v$	$E/\lg v$
Без воздействий	19,96	2,5	7,98
После УФ-облучения	19,96	2,2	9,07
После теплового старения	21,95	4,6	4,77

Из таблицы видно, что константы, характеризующие скорость набухания, меняются в зависимости от вида воздействия. Для фанеры наиболее опасным видом воздействия является тепловое старение.

Также изучено поведение фанеры в свободном состоянии при нагревании с заданной скоростью 1,65 °С/мин до и после УФ-облучения и после замачивания в воде (рис. 5). При УФ-облучении вид дилатометрических кривых не меняется, но линейное изменение размеров образца происходит менее интенсивно (см. рис 5, а). После замачивания вид зависимостей остается таким же, однако интенсивность расширения изменяется (см. рис. 5, б).

По полученным кривым определены коэффициенты линейного термического расширения $\alpha \times 10^{-6}$, 1/°С, которые составили без воздействий, после УФ-облучения и набухания соответственно 131, 99 и 61.

Из таблицы видно, что воздействие УФ-облучения уменьшает коэффициент линейного термического расширения в 1,2 раза, то есть происходит увеличение жесткости материала. После замачивания фанеры значение данного коэффициента уменьшилось в 2,2 раза, что говорит о повышении жесткости. Определены структурные переходы после фотостарения, которые характеризуются температурами перехода, для фанеры – 40 и 70 °С. После УФ-облучения температура перехода смещается в более высокую область температур – 50 и 90 °С, что связано со слоистой структурой материала.

Результаты влияния температуры на прочность фанеры приведены на рис. 6. Из рисунка видно, что после УФ-облучения несколько возрастает прочность фанеры, то есть ультрафиолет оказывает экранирующий эффект на фанеру. Таким образом увеличивается необходимая нагрузка, требующаяся для разрушения материала.

На основе данных из графика получены следующие значения: температура разрушения фанеры без приложения нагрузки составила без воздействий и после УФ-облучения соответственно 212 и 237 °С; предельное напряжение при $t = 0$ °С – без воздействий 100 МПа, после УФ-облучения 119 МПа. Значение предельной

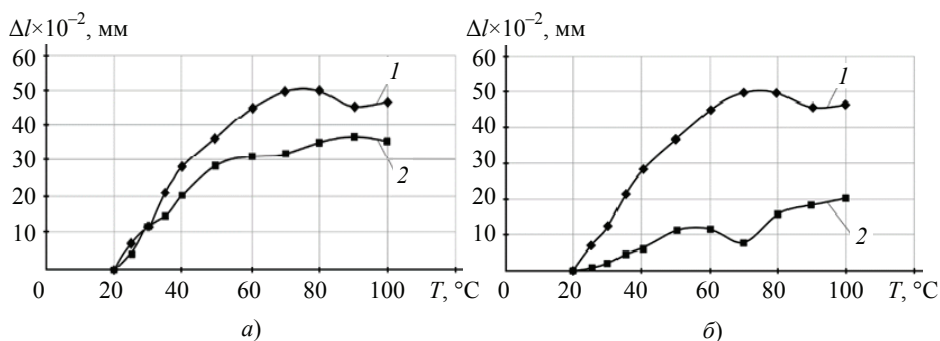


Рис. 5. Графики зависимости линейного термического расширения фанеры от влияния УФ-облучения (а) и набухания (б):
1 – без воздействий; 2 – после УФ-облучения и набухания

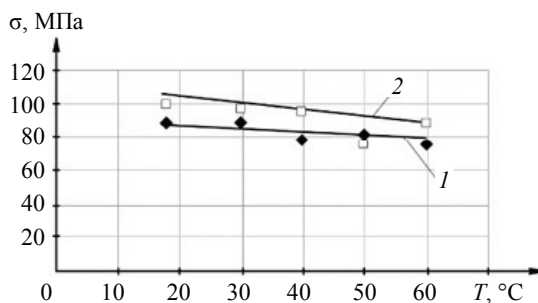


Рис. 6. Графики зависимости прочности фанеры от влияния температуры до УФ-облучения (1) и после (2)

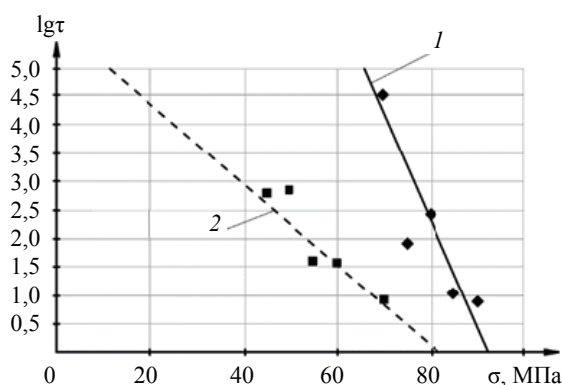


Рис. 7. Зависимость логарифма долговечности от напряжения для фанеры до (1) и после (2) набухания в течение 1 часа

температуры без приложения нагрузки получено путем интерполяции на ось абсцисс. Значение разрушающего напряжения при нулевой температуре получено путем интерполяции на ось ординат.

Для изучения влияния воды на долговечность фанеры проведены длительные испытания. Полученные экспериментальные данные в координатах «lgt – σ » приведены на рис. 7, из которого видно, что характер зависимостей до и после воздействия воды сохраняется, но при этом наблюдается значительная потеря (в 4,5-5 раз) долговечности и прочности фанеры.

Выводы

На основе проведенных исследований установлено, что воздействие как УФ-облучения, так и теплового старения вызывает нарушение связей между частицами, что значительно понижает способность фанеры сопротивляться влиянию воды. Константы, характеризующие скорость набухания, меняются в зависимости от вида воздействия (УФ-облучения или теплового старения). Для фанеры наиболее опасным видом воздействия является тепловое старение.

Из полученных данных видно, что воздействие УФ-облучения уменьшает коэффициент линейного термического расширения в 1,2 раза, то есть происходит увеличение жесткости материала. После замачивания фанеры значение коэффициента уменьшилось в 2,2 раза, что также говорит о повышении жесткости. Определены структурные переходы до воздействия УФ-облучения (40 и 70 °С) и после (50 и 90 °С).

При изучении влияния УФ-облучения на кратковременную прочность фанеры установлено, что происходит незначительное ее повышение вследствие экранящего эффекта. Замачивание фанеры в воде в течение одного часа (для изучения длительной прочности) показывает, что происходит снижение долговечности, при этом характер зависимостей сохраняется.

Список литературы

1. Корчаго, И. Г. Применение древесноплитных материалов в строительстве / И. Г. Корчаго. – М. : Стройиздат, 1984. – 94 с.
2. Строительные материалы : учебник / В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов [и др.] ; под общей ред. В. Г. Микульского. – М. : Ассоциация строительных вузов, 1996. – 488 с.
3. Леонович, А. А. Древесноплитные материалы специального назначения / А. А. Леонович. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Лань, 2019. – 160 с.

4. Васечкин, Ю. В. Технология и оборудование для производства фанеры : учебник / Ю. В. Васечкин. – М. : Лесная промышленность, 1983. – 312 с.
5. Сузюмов, А. В. Прогнозирование долговечности фанеры в ограждающих и несущих строительных конструкциях / А. В. Сузюмов, О. А. Киселева, В. П. Ярцев // Достижения, проблемы и перспективные направления развития теории и практики строительного материаловедения : материалы Десятых академических чтений РААСН, 24 – 29 апреля 2006 г., Казань – Пенза. – Казань, 2006. – С. 222 – 224.
6. Уголев, Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение : учеб. / Б. Н. Уголев. – М. : Академия, 2004. – 272 с.
7. Hrazsky, J. A Contribution to the Properties of Combined Plywood Materials / J. Hrazsky, P. Kral // Journal of Forest Science. – 2007. – Vol. 53. – P. 483 – 490.
8. Demir, A. The Effect of Some Technological Properties of Plywood Panels on Seismic Resistant Performance of Wooden Shear Wall / A. Demir, C. Demirkir, I. Aydin // Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences. – 2019. – Vol. 10, No. 1. – P. 37 – 45.
9. Мамонтов, С. А. Тепловое и световое старение фанеры строительного назначения / С. А. Мамонтов, О. А. Киселева // Вестн. гражданских инженеров. – 2014. – № 5 (46). – С. 85 – 89.
10. Мамонтов, С. А. Дилатометрия фанеры, подверженной тепловому старению и УФ-облучению / С. А. Мамонтов, О. А. Киселева // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 41. – С. 101 – 106.

The Impact of Climatic Aging on the Performance Properties of Plywood

V. P. Yartsev, V. M. Danilov

*Department of Design of Buildings and Structures, vm.danilov1997@gmail.com;
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: humidity; thermal aging; thermal fluctuation; UV irradiation; plywood.

Abstract: The results of experimental studies of the performance properties of plywood exposed to moisture, thermal aging, and UV irradiation are presented. To obtain reliable data, the thermal fluctuation concept of strength was used, which allows taking into account the simultaneous action of temperature, time and load, as well as additional external influences. It was revealed that climatic aging has a detrimental effect on plywood, namely, there is a break in the bonds between the particles, and then a complex decrease in the strength and resistance of the material to other climatic influences. It has been established that some types of impacts increase the value of plywood stiffness, which causes a brittle fracture, while UV irradiation slightly increases strength due to the occurrence of a screening effect.

References

1. Korchago I.G. *Primeneniye drevesnoplitnykh materialov v stroitel'stve* [Application of wood-based materials in construction], Moscow: Stroyizdat, 1984, 94 p. (In Russ.)
2. Mikul'skiy V.G. [Ed.], Gorchakov G.I., Kozlov V.V. [et al.] *Stroitel'nyye materialy: uchebnik* [Building materials: textbook], Moscow: Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov, 1996, 488 p. (In Russ.)
3. Leonovich A.A. *Drevesnoplitnyye materialy spetsial'nogo naznacheniya* [Wood-based materials for special purposes], Moscow: Lan', 2019, 160 p. (In Russ.)
4. Vasechkin Yu.V. *Tekhnologiya i oborudovaniye dlya proizvodstva fanery: uchebnik* [Technology and equipment for plywood production: textbook], Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1983, 312 p. (In Russ.)

5. Suzyumov A.V., Kiseleva O.A., Yartsev V.P. *Dostizheniya, problemy i perspektivnyye napravleniya razvitiya teorii i praktiki stroitel'nogo materialovedeniya* [Achievements, problems and perspective directions of development of the theory and practice of building materials science], of the Tenth academic readings of RAASN, 24 - 29 April, 2006, Kazan - Penza, Kazan, 2006, pp. 222-224. (In Russ.)

6. Ugolev B.N. *Drevesinovedeniye i lesnoye tovarovedeniye: uchebnik* [Wood science and forest commodity science: textbook], Moscow: Akademiya, 2004, 272 p. (In Russ.)

7. Hrazsky J., Kral P. A Contribution to the Properties of Combined Plywood Materials, *Journal of Forest Science*, 2007, vol. 53, pp. 483-490.

8. Demir A., Demirkir C., Aydin I. The Effect of Some Technological Properties of Plywood Panels on Seismic Resistant Performance of Wooden Shear Wall, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 37-45.

9. Mamontov S.A., Kiseleva O.A. [Thermal and light aging of plywood for construction purposes], *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2014, no. 5 (46), pp. 85-89. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Mamontov S.A., Kiseleva O.A. [Dilatometry of plywood subjected to thermal aging and UV irradiation], *Tekhnicheskiye nauki - ot teorii k praktike* [Technical sciences - from theory to practice], 2014, no. 41, pp. 101-106. (In Russ., abstract in Eng.)

Der Einfluss von Klima-Alterung auf die Betriebseigenschaften des Sperrholzes

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse experimenteller Studien zu den Leistungseigenschaften von Sperrholz vorgestellt, das Feuchtigkeit, thermischer Alterung und UV-Bestrahlung ausgesetzt ist. Um zuverlässige Daten zu erhalten, wurde das thermische Fluktuationkonzept der Festigkeit verwendet, das die Berücksichtigung der gleichzeitigen Einwirkung von Temperatur, Zeit und Belastung sowie zusätzlicher äußerer Einflüsse erlaubt. Es ist festgestellt, dass die klimatische Alterung eine nachteilige Wirkung auf Sperrholz hat, nämlich tritt ein Bruch der Bindungen zwischen den Partikeln und dann eine komplexe Abnahme der Festigkeit und Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber anderen klimatischen Einflüssen auf. Es ist festgestellt, dass einige Arten von Stößen den Wert der Sperrholzsteifigkeit erhöhen, was einen Sprödebruch verursacht, während UV-Bestrahlung die Festigkeit aufgrund des Auftretens eines Abschirmeffekts geringfügig erhöht.

Influence du vieillissement climatique sur les propriétés de performance du contreplaqué

Résumé: Sont présentés les résultats des études expérimentales sur les propriétés de performance du contreplaqué affecté par l'humidité, le vieillissement thermique, l'irradiation UV. Pour l'obtention des données fiables, est appliqué le concept de résistance à la thermofluction ce qui permet de prendre en compte les effets simultanés de la température, du temps et de la charge, ainsi que les effets externes supplémentaires. Est constaté que le vieillissement climatique a un effet néfaste sur le contreplaqué qui aboutit à la rupture des liaisons entre les particules et la réduction complexe de la résistance aux influences climatiques. Est constaté que certains types d'effets augmentent la rigidité du contreplaqué, ce qui entraîne un caractère de rupture fragile, tandis que l'irradiation UV augmente légèrement la résistance en raison de l'effet de blindage.

Авторы: *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Данилов Владислав Михайлович* – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.