

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ
И ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ**

© О. А. Киселева¹✉, В. П. Ярцев¹

¹ Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», kiseleva_oa@rambler.ru;
ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация

Ключевые слова: деформация; долговечность; древесные композиты; переменное нагружение; прочность; усталость; циклическое нагружение.

Аннотация: На примере древесностружечных плит и ламината изложена взаимосвязь деформационных процессов и прочности. Учтено влияние различных параметров (температуры, скорости и уровня нагружения) на данные процессы. Изучено влияние циклического нагружения на прочность древесно-стружечных плит и фанеры. Подобрана продолжительность отдыха между циклами нагружения, позволяющая продлить продолжительность жизни материалов. Рассмотрены длительные испытания древесных композитов в режиме циклических испытаний и переменных нагрузок.

Введение

Строительная механика часто рассматривает работу материала под действием постоянной температуры. Однако в процессе эксплуатации работа материала более сложная. Он может находиться как в нагруженном состоянии, так и в стадии отдыха. Кроме того, уровень нагрузки также может постоянно меняться.

Под действием нагрузки в материале параллельно идут два процесса: разрушение и деформирование, причем второй всегда предшествует процессу разрушения. Рассмотрим деформационные процессы более подробно. Деформации подразделяются на упругие, полные и остаточные (необратимые). Упругими считаются деформации, которые полностью исчезают после снятия нагрузки. Остаточные же деформации остаются в материале, причем они возникают уже при малых величинах полной деформации. Насколько велика будет полная деформация и какова упругая определяется структурой материала. В древесных композициях деформации возникают за счет разрушения в зонах контакта древесины со связующим [1]. Нельзя оставлять без внимания и уровень действующей нагрузки.

При построении графиков, учитывающих взаимосвязь деформационных процессов и прочности как на стадии нагружения, так и на стадии разгрузки, получаются кривые, напоминающие собой «петли гистерезиса». Площадь внутри такого графика соответствует механической работе, большая часть которой переходит в тепловую энергию. Также здесь образуется энергия деформации последствия и небольшая часть свободной энергии высокоэластической деформации [1].

При этом с увеличением деформации растет количество работы, переходящей в тепло и приводящей к разогреву материала, который в свою очередь может привести к снижению прочности и химическим изменениям материала [1, 2]. Поэтому механические потери должны быть сведены к минимуму.

Цель работы – изучение деформационных процессов и многократного нагружения на примере трех материалов: ДСП, ламината и фанеры.

Методология проведения исследования

Первая серия испытаний проводилась при сжатии в режиме заданных скоростей нагружения (разгрузки) и постоянных температур. В процессе испытаний фиксировали изменение деформации ε от напряжения σ . Полученные результаты представляют собой «петли гистерезиса».

Вторая серия испытаний направлена на изучение циклического влияния нагрузки на прочность материала при поперечном изгибе. В данном случае в течение одного экспериментального цикла чередовались процессы нагружения (30 мин) и отдыха, когда образец оставался без нагрузки. Отдых принимался равным 2 мин, 15 мин, 30 мин, 1 ч и 1 сут. Само количество циклов варьировалось от 2 до 30.

Рассмотрены также долговременные испытания материалов, которые проводились при поперечном изгибе – *третья серия испытаний*. В данном случае образцы подвергались нагрузке, повторяющейся в течение некоторого количества циклов. При этом в ходе испытаний для каждого образца фиксировалось время его жизни под нагрузкой. Дополнительно перед каждым последующим нагружением фиксировали величину прогиба.

Затем образцы подвергались действию длительных нагрузок (*четвертая серия*), но при этом постоянно изменялся их уровень. Температура поддерживалась строго постоянной на уровне 20 °С. Испытания велись при поперечном изгибе и при этом фиксировалось время до разрушения материала. По полученным данным построены зависимости изменения долговечности от прочности.

Ранее получены зависимости изменения долговечности от прочности (характерной для постоянного уровня нагружения), которые представлены классическим уравнением долговечности [3, 4]

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right], \quad (1)$$

где τ_m, U_0, γ, T_m – физические константы материала: τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов), с; U_0 – максимальная энергия активации разрушения, кДж/моль; γ – структурно-механическая константа, кДж/(моль×МПа); T_m – предельная температура существования твердого тела (температура разложения), К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль×К); τ – время до разрушения (долговечность), с; σ – напряжение, МПа; T – температура, К.

Расчет констант, входящих в уравнение (1), осуществляется по методике, представленной в работе [3].

Результаты проведенного исследования

На примере древесностружечных плит и ламината проследим взаимосвязь полной деформации с остаточной, а также влияние температуры и скорости нагружения на их основные деформационно-силовые параметры. Полученные графики представляют собой «петли гистерезиса» (рис. 1 и 2).

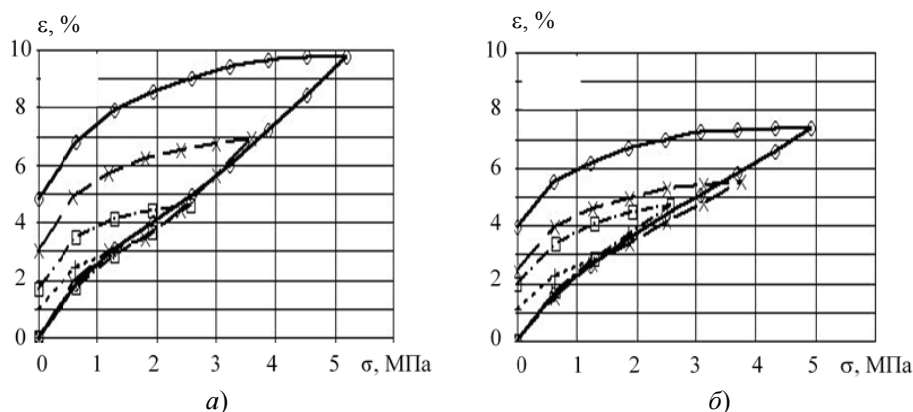


Рис. 1. Влияние ступенчатого нагружения на деформационные процессы при сжатии для древесно-стружечных плит плотностью 700 (а) и 800 (б) кг/м³

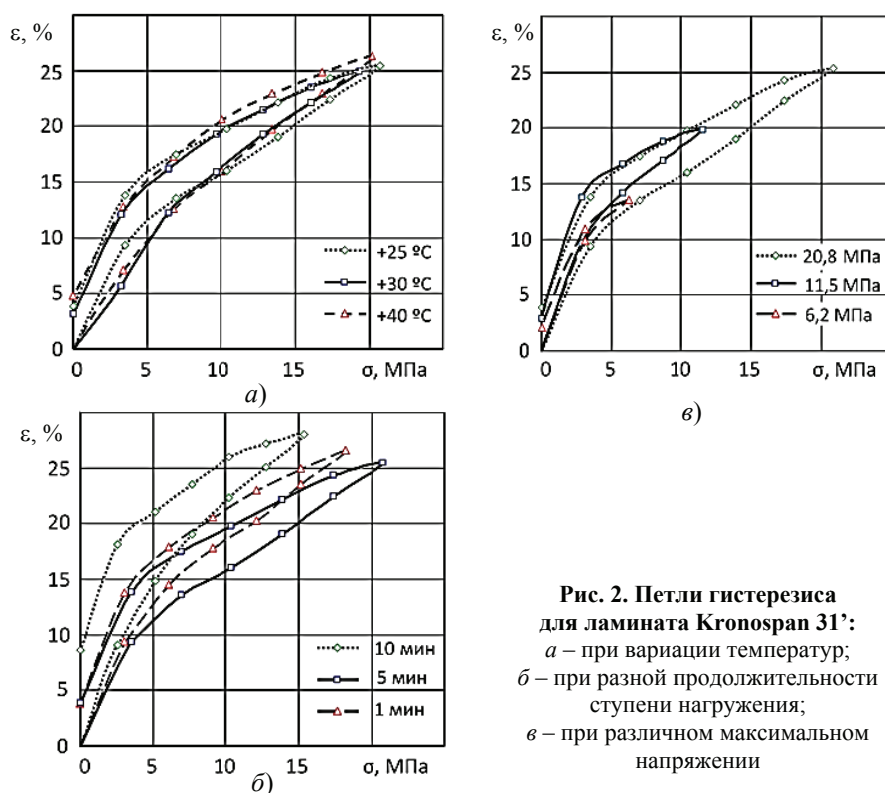


Рис. 2. Петли гистерезиса для ламината Kronospan 31':
а – при вариации температур;
б – при разной продолжительности ступени нагружения;
в – при различном максимальном напряжении

Зависимости, полученные при ступенчатом нагружении, напоминают «петли гистерезиса», то есть при одних и тех же значениях напряжения σ деформация при нагружении существенно меньше, чем при разгрузке (см. рис. 1). Величина упругой (обратимой) деформации зависит от нескольких параметров: во-первых, от полной деформации, во-вторых, от плотности материала и, в-третьих, от температуры. Величина деформации составила порядка 2 – 5 % для ДСП плотностью 700 кг/м³ с дисперсной стружкой. Для древесно-стружечных плит с мелкой стружкой плотностью 800 кг/м³ она ниже и достигает 1,7 – 3,4 %. Для ламината

величина деформации попадает в те же пределы – 4 – 5 %. Величина остаточной деформации, которая остается после разгрузки образца зависит от уровня полной деформации. Однако если полная деформация древесно-стружечных плит составляет 1,2 %, то после снятия нагрузки она полностью исчезает.

Для древесно-стружечных плит и ламината характерна небольшая площадь «петли гистерезиса», то есть многократное нагружение не вызывает больших механических потерь. Влияние скорости нагружения и температуры на величину остаточной деформации представлено в табл. 1.

Для древесно-стружечных плит плотностью 800 кг/м^3 при повышении температуры такие параметры, как площадь «петли гистерезиса», максимальная и остаточная деформации, увеличиваются незначительно, а квазиупругая деформация даже остается постоянной (см. табл. 1). Однако с уменьшением плотности древесно-стружечных плит все три параметра увеличиваются по линейным законам. Неизменной опять же остается величина квазиупругой деформации, которая подтверждает пропорциональность величин остаточной и максимальной деформаций. На величину квазиупругой деформации оказывает существенное влияние только величина ступеней при нагружении материала.

Повышенная температура не оказывает практически никакого влияния на деформационных характеристиках ламината, а древесно-стружечные плиты, наоборот, чувствительны к действию данного фактора и для них характерно усиление деформационных процессов [3, 5].

Еще большее влияние оказывает ступенчатое нагружение. С увеличением ступеней при сохранении длительности нагружения происходит заметное увеличение остаточной деформации и площади «петли гистерезиса» для ламината и всех деформационных характеристик ДСП плотностью 800 кг/м^3 .

Длительность нагружения значительно сказывается на свойствах ДСП с дисперсной стружкой и ламината.

Все процессы, возникающие в материалах, взаимосвязаны с процессами релаксации, то есть способностью материала залечивать дефекты [2]. С уменьшением скорости деформирования вероятность возникновения релаксационных процессов растет. При этом восстанавливаются не только форма образца, но и их первоначальные механические характеристики. С повышением температуры движение частиц внутри материала увеличивается, следовательно, дефекты будут залечиваться быстрее [1].

Проанализируем влияние скорости и уровня нагружения (так как этот параметр сильно влияет на усталость материала) на прочность древесных композитов, подвергающихся действию циклической нагрузки, а также влияние времени отдыха на интенсивность накопления усталости. При циклических нагружениях процесс нагружения-разгрузки происходит многократно, что усложняет работу материала, зачастую приводя к возникновению дополнительных дефектов за счет усталости. Испытания проводились на двух древесных композитах с разной структурой – фанере и ДСП (рис. 3). Отмечено, что ДСП более чувствительна к изменению скорости нагружения.

Итоговая прочность ДСП, которая указана в долях от начальной¹ более резко нарастает с увеличением скорости нагружения. Однако в диапазоне $0,4 \dots 0,7 \text{ кг/с}$ материал не реагирует на изменение данного фактора, а затем, в интервале $0,7 \dots 1,0 \text{ кг/с}$, происходит скачкообразное увеличение его прочности [6]. У фанеры же увеличение прочности происходит равномерно во всем диапазоне скорости нагружения

¹ Начальная прочность – разрушающая прочность, полученная однократным нагружением образцов, не подвергавшихся каким-либо воздействиям.

Таблица 1

**Влияние различных факторов
на деформационно-силовые параметры древесных композитов**

Факторы		Деформационно-прочностные характеристики					
		Скорость нагружения, кН/мин	Максимальное напряжение, МПа	Максимальная деформация, %	Остаточная деформация, %	Квазиупругая деформация, %	Площадь петли гистерезиса, (%·МПа)
ДСП плотностью 700 кг/м ³							
Температура, °С	18	6	5,19	10,47	5,46	5,01	19,82
	44	6	5,19	11,69	6,31	5,38	22,4
	58	6	5,19	12,62	7,71	4,91	24,48
Величина ступенчатой нагрузки, кг	1	1	5,18	9,53	5,03	4,5	19,3
	3	3	5,18	9,78	4,85	4,93	18,44
	6	6	5,18	10,47	5,46	5,01	19,82
Длительность ступеней нагружения, мин	10	3	5,19	9,78	4,85	4,93	18,44
	5	6	5,19	9,71	4,5	5,21	17,84
	1	30	5,19	7,55	2,8	4,75	12,99
ДСП плотностью 800 кг/м ³							
Температура, °С	18	6	5,1	9,7	5,5	4,2	16,84
	44	6	5,1	10,1	6,2	3,9	17,71
	58	6	5,1	10,5	6,2	4,3	17,58
Величина ступенчатой нагрузки, кг	1	1	5,2	8,9	4,1	4,8	15,25
	3	3	5,2	9,65	4,2	5,45	16,04
	6	6	5,2	10,9	4,9	6	17,09
Длительность ступеней нагружения, мин	10	3	5,1	10,1	5,5	4,6	19,49
	5	6	5,1	9,6	5,4	4,2	18,88
	1	30	5,1	9,1	4,9	4,2	17,93
Ламинат Kronospan 31' [5]							
Температура при испытании, °С	25	0,006	20,81	25,4	3,87	21,53	42,00
	30	0,006	19,29	24,91	3,08	23,21	40,00
	40	0,006	20,22	26,29	4,73	21,56	45,00
Длительность ступеней нагружения (по 0,311 кН), мин	10	0,003	15,33	28,03	8,570	19,46	66,00
	5	0,006	20,82	25,40	3,870	21,53	40,00
	1	0,030	18,82	26,54	3,78	22,76	33,00
Максимальное напряжение, МПа	20,8	0,06	—	25,40	3,50	21,90	40,00
	11,5	0,06	—	20,00	2,50	17,50	15,00
	6,2	0,06	—	13,00	2,00	11,00	6,20

(0,4...1,0 кг/с). Полученные различия в поведении материалов можно объяснить их строением. Из-за своей слоистой структуры фанера имеет более стабильное поведение, чем ДСП. Во всем исследуемом интервале скорости нагружения дефекты тормозятся уже на начальной стадии их развития о границы слоя, в котором они появились. Также на прочностные закономерности материала оказывает

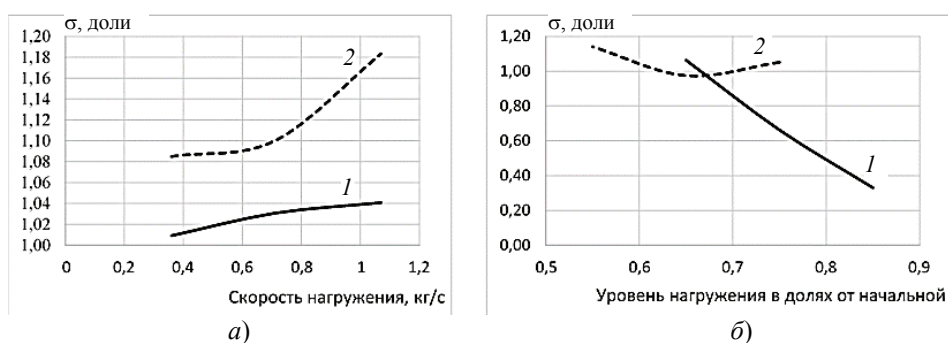


Рис. 3. Влияние на прочность древесных композитов скорости нагружения (а) и величины нагружения в цикле (б):
1 – фанера, 2 – ДСП

свое влияние и его жесткость. На графике видно, что после определенной скорости нагружения (0,7 кг/с) ДСП уже исчерпывает свои эластичные свойства. Эластические деформации не успевают проявляться, и в материале уменьшается ползучесть. Вследствие этого материал начинает работать более упруго и увеличивает свои прочностные свойства.

При интенсивности нагрузки для материалов характерно следующее поведение. Фанера сильнее реагирует на изменение величины нагрузки, при ее уровне 65 – 85 % от начальной видно значительное снижение прочности (на 50 %); для ДСП при уровне нагрузки 55 – 75 % от первоначальной теряется только 10 % прочности. Полученные зависимости можно объяснить различиями материалов по их однородности строения. Древесно-стружечная плита в целом более однородный материал, у фанеры же имеется ориентация в продольно-поперечном направлении за счет ее слоистого строения. В результате механизмы разрушения в ДСП запускаются с малого уровня нагружения и не меняют в последующем своего характера.

Фанера же в силу своей неоднородности и слоистости имеет несколько ступеней в процессе разрушения. Самым слабым участком при испытаниях на изгиб являются слои фанеры, волокна в которых направлены перпендикулярно образцу [7]. В них появляются первые микротрещины, которые начинают свой рост. При испытаниях неоднократно наблюдалось, как данные слои шпона разделялись на отдельные части и выключались из работы, причем образец не разрушался, а продолжал работать как многослойная балка на податливых связях. Процесс происходил последовательно, начиная с нижнего. В результате увеличивалась деформативность образца и слои со шпоном, ориентированным вдоль, все больше пытались сместиться друг относительно друга. Касательные напряжения в клеевом слое росли, и в определенный момент начиналось разрушение по клеевому шву. В этот момент рабочими оставались только слои с продольными волокнами. Постепенно и они начинали разрушаться. После разрушения первого снизу слоя нагрузка на второй возрастала и процесс образования трещины принимал лавинообразный характер.

Таким образом, при увеличении уровня нагружения снижаются барьеры на пути развивающихся трещин, которые превращались в магистральную трещину. На рисунке 4 показано сравнение интенсивности нарастания деформаций, в силу разной высоты образцов ДСП и фанеры. К пятому циклу остаточные деформации в ДСП при уровнях загрузки от начальной прочности в 75 и 55 % различаются примерно в 1,5 раза, тогда как в фанере при 85 и 65 % они различаются в 3,5 раза. Нарастание деформаций в ДСП происходит почти равномерно, тогда как для фанеры характерны перегибы. При этом по третий цикл включительно для обоих материалов накопление деформаций происходит одинаково.

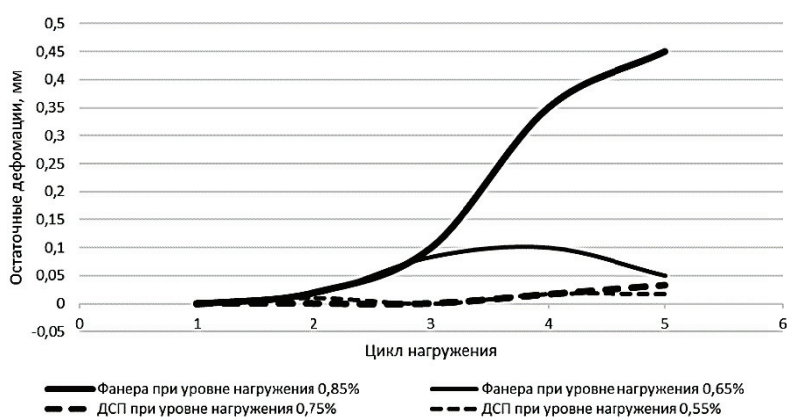


Рис. 4. Зависимости остаточных деформаций от цикла нагружения

Далее (после четвертого цикла) для фанеры процессы нарастания деформаций происходят нестабильно. Это можно объяснить тем, что уровень, при котором разрушаются слои с поперечным расположением волокон, пройден.

При многократных нагружениях начинает срабатывать усталость материала. В результате происходит образование большого количества дефектов, что в свою очередь приводит к запуску процессов разрушения и снижению прочности материала [8]. Но может произойти и обратный эффект, когда дефекты начинают заживаться в результате длительного отдыха. На рисунке 5 представлена взаимосвязь прочности материала и времени отдыха образцов от нагрузки, которая менялась от 2 мин до 1 сут. Продолжительность нагружения всегда составляла 30 мин. Количество циклов также варьировалось от 2 до 30 мин.

Во время проведения экспериментов с фанерой часть образцов, накопив усталость, разрушалась в произвольный момент времени даже под действием рабочей нагрузки. В итоге зависимость принимает вид, из которого следует, что с увеличением циклов испытаний прочность образцов не падает, а наоборот растет, (см. рис. 5) [6]. Так почему же наблюдается увеличение прочности? Это происходит потому, что до заключительного цикла эксперимента доживают заведомо более прочные образцы, а более слабые разрушились уже ранее. И чем больше проходит циклов, тем более прочные образцы остаются. Значит, явление увеличения прочности является искусственным, а выводы, сделанные на основании этих графиков, – ложными. Для выявления более реальной картины получена взаимосвязь количества циклов с количеством оставшихся образцов (см. рис. 5, б).

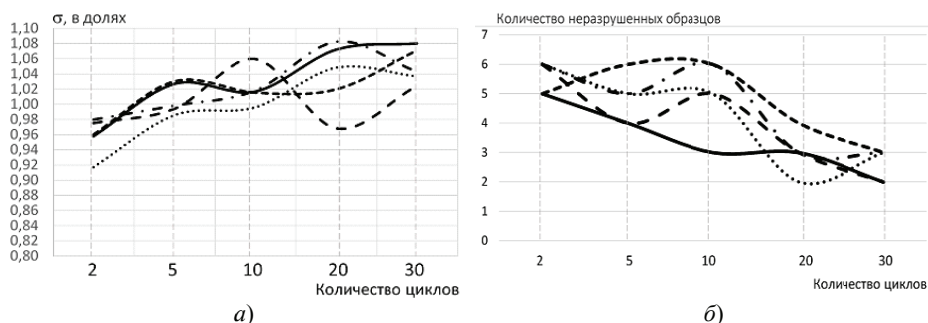


Рис. 5. Зависимости прочности (а) и количества образцов (б), доживших до заключительного цикла, от количества циклов для различных режимов нагружений:

— 2 мин, 15 мин, --- 30 мин, ---- 1 час, - · - · - 24 ч

Если же обратить внимание на образцы, не дожившие до заключительного цикла в каждом эксперименте, то можно увидеть четкое подтверждение, что усталостные процессы в них протекают. Когда образец разрушается под действием рабочей нагрузки, например на пятом цикле нагружения, то это значит, что его прочность снизилась из-за накопления дефектов. Чем больше проходит циклов нагружения, тем меньше остается образцов, доживших до заключительного цикла, что подтверждает накопление усталости в них. Кривая, построенная для режима с наименьшим отдыхом (2 мин), лежит ниже остальных (см. рис. 5, б). Следовательно, времени отдыха не хватило для залечивания дефектов и образцы разрушались быстрее. Кривая для режима с отдыхом 15 мин лежит заметно выше первоначальной кривой, различия между основными кривыми незначительны и находятся в пределах разброса полученных данных, из чего следует, что 15 мин отдыха часто бывает достаточно для залечивания основной массы дефектов.

Не учитывать образцы, разрушенные под действием рабочей нагрузки, нельзя. Тогда возник вопрос о том, как их учитывать. Многократно замечая самопроизвольное разрушение образцов под действием рабочей нагрузки, принято решение провести долговременные испытания образцов в заданных режимах. Образцы нагружались рабочей нагрузкой в течение некоторого количества циклов (одинакового для каждого режима), но в ходе испытаний для каждого образца фиксировалось его время жизни под нагрузкой. По полученным данным построен график зависимости, показывающий, что после многократного действия нагрузки величиной 75 % от разрушающего напряжения, чередующейся с отдыхом в течение 24 ч, время жизни образцов фанеры также увеличивается в 2,2 раза (рис. 6).

Такой эффект говорит о том, что при отдыхе происходит залечивание дефектов. Большинство восстанавливаемых дефектов (76 %) залечивается в течение первых 30 мин времени отдыха, и к 24 ч практически все дефекты имеют возможность устраниться. Однако с течением времени интенсивность восстановления связей замедляется и увеличение продолжительности отдыха до недели положительных результатов не дает: прочность и количество образцов, доживших до конца пятого циклов с отдыхом 1 неделя были практически равны прочности количеству образцов с отдыхом 1 сутки [6].

Зависимость долговечности для ДСП имеет аналогичный вид, но уже после 30 мин участок кривой фактически горизонтален. Это говорит о том, что спустя 30 мин процессы залечивания дефектов в материале во время отдыха практически останавливаются. При этом до 30 мин интенсивность восстановления прочности в ДСП выше, чем в фанере (89 % залеченных дефектов против 76 %).

Выявленные различия связаны со структурой материалов. Структурные единицы в ДСП, если рассматривать строение материала на уровне композита, более

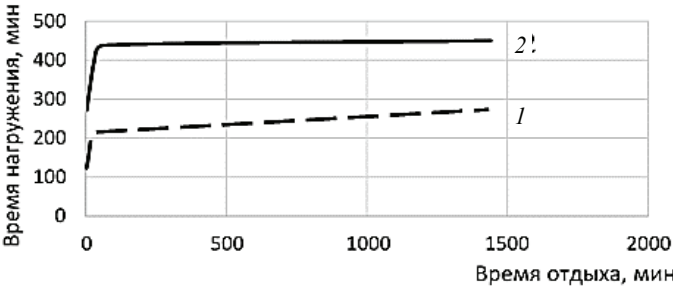


Рис. 6. Зависимости продолжительности жизни образцов под нагрузкой от времени отдыха:
1 – фанера; 2 – ДСП

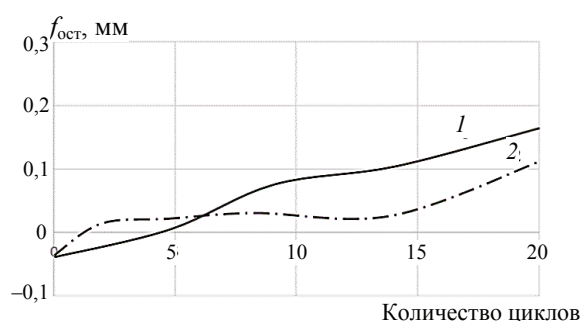


Рис. 7. Зависимости остаточного прогиба от количества циклов для различных режимов испытаний:
1, 2 – соответственно 2 и 60 мин отдыха

мелкие, чем в фанере. Развитие дефектов, в частности, рост трещин, в нем протекает быстрее, так как трещине проще обогнуть небольшую стружку, чем найти дефектный участок в гораздо большем по размерам и более однородном по структуре слое шпона (что снижает вероятность появления мест концентрации напряжений). Однако, по причине все той же мелкодисперсности ДСП, процессы регенерации в нем более вероятны, что способствует более быстрому восстановлению разорванных связей.

Дополнительно в ходе длительных испытаний проводилось измерение остаточного прогиба образцов после снятия нагрузки (рис. 7). Отчеты по приборам снимались во время отдыха непосредственно перед следующим нагружением. Выявленная динамика набора образцами остаточного прогиба также подтверждает ранее полученные зависимости. Так, при отдыхе в 2 мин прогиб в образцах начинает накапливаться уже после пятого цикла. Если увеличить отдых до 60 мин, то видно, как прогиб образцов немного увеличивается за первые два цикла, а затем его величина стабилизируется и начинает резко расти только после 14 цикла.

Итак, усталостные процессы в древесных материалах существуют, и они начинают сказываться уже после пятого циклов. В результате прочность образцов снижается, а деформации растут.

В процессе эксплуатации древесные композиты находятся часто под действием не постоянных, а переменных нагрузок. К таким конструкциям можно отнести стеновые панели, полы. Поэтому возникла необходимость в изучении влияния переменности нагружения на долговечность материала.

С этой целью на примере двух материалов (древесно-стружечной плиты и ламината) проведены длительные испытания. Уровень изменения напряжений и продолжительность их действия принималась в соответствии с изменением ветровой нагрузки (северное направление ветра) для Тамбова [9]. Первый базовый уровень напряжений был принят равным 82 % от разрушающего для ДСП и 92 % для ламината (на диаграмме соответствует уровню 1, рис. 8). Полученные результаты длительных испытаний представлены на рис. 9, из которого видно, что при переменных нагрузках зависимости имеют линейный характер, причем наклон прямой меняется. Для ламината прямые долговечности при переменном и постоянном нагружении сходятся в точке, соответствующей напряжению 30,25 МПа и долговечности 10,5 минут. При более высоких напряжениях переменность нагружения не будет сказываться на долговечности композита, так как выбранный цикл составляет 20 мин.

Древесно-стружечные плиты являются более чувствительными к переменности нагружения. Для данного материала уровень снижения долговечности превышает два порядка, следовательно, его дефектность выше. Несмотря на то что

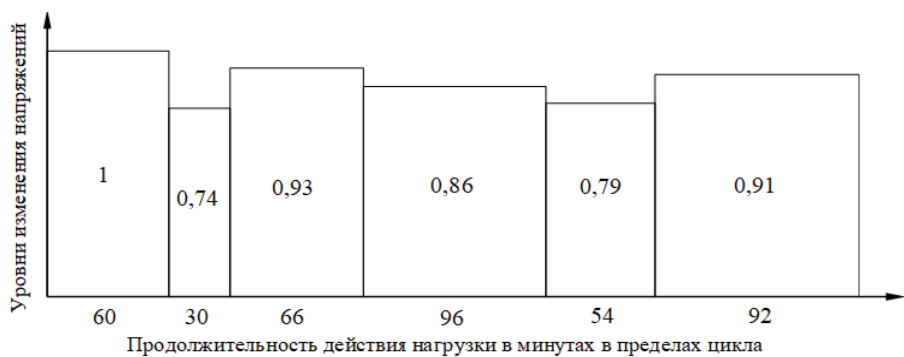


Рис. 8. Диаграмма изменения напряжений

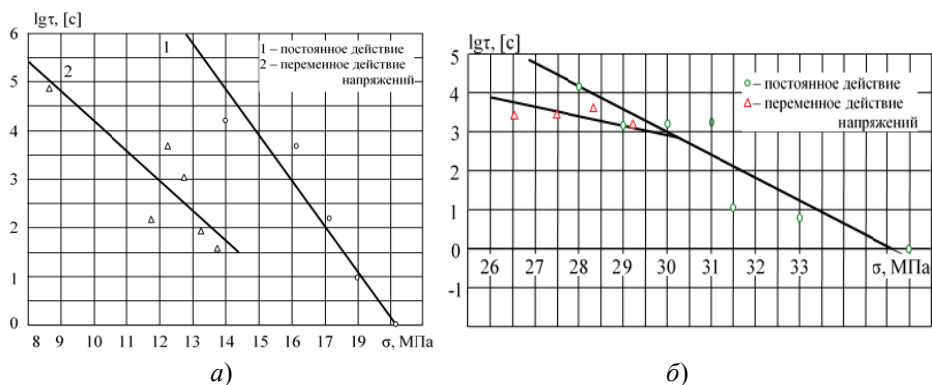


Рис. 9. Зависимости долговечности от напряжений (при поперечном изгибе) при температуре +20 °С:
а – ДСП; б – ламинат

Таблица 2
Значения физических и эмпирических констант при поперечном изгибе, входящих в уравнение (1)

Материал	Плотность, кг/м ³ / марка ламината	Уровень температуры, °С	Физические и эмпирические константы			
			$\tau_m (\tau_m^*), \text{с}$	$T_m (T_m^*), \text{К}$	$U_0 (U_0^*), \text{кДж/моль}$	$\gamma (\gamma^*), \text{кДж/(МПа} \cdot \text{моль)}$
ДСП	650	—	10^{-3}	571	194	12,8
			$10^{-3,2}$	465	244	16,7
	700		$10^{-2,9}$	540	213	11,3
	850		10^{-2}	454	255	21,6
Ламинат	Kronospan31'	< +60	$10^{-1,35}$	651	232	6,23
		> +60	$10^{-2,7}$	392	723	19,23
	Kronostar 31'	< +40	10^{-2}	552	299	7,17
		> +40	10^{-2}	377	743	17,50
	Tarkett 32'	—	$10^{-4,38}$	451	404	6,90

оба материала имеют волокнистое строение, при производстве ламината применяется более мелкая стружка высокого качества, что придает ему большую стабильность.

Учесть действие данного параметра, то есть переменность нагружения, можно с помощью поправок к уравнению долговечности (1) [10], которое было получено для постоянных напряжений. Величины всех констант, входящих в данное уравнение, представлены в табл. 2. Поправки для перехода от постоянных нагрузок к переменным, учитывающие действие переменных напряжений, следующие: твердое ДСП – $\Delta = 0,375 \sigma - 8,3$; ламинат Kronospan – $\Delta = 0,38\sigma - 11,44$ (для ламината поправка справедлива при напряжениях менее 30 МПа, а для ДСП – менее 14 МПа)

Заключение

Для залечивания дефектов древесным композитам часто бывает достаточно 15 мин отдыха для фанеры и 30 мин – для ДСП. При этом интенсивность восстановления прочности в ДСП выше, чем в фанере (89 % залеченных дефектов против 76 %). Древесные композиты также подвержены процессам усталости, которые начинают сказываться уже после 5 циклов нагружения. Для снижения их влияния требуется увеличение продолжительности отдыха при многократно действующих нагрузках. Так, если увеличить продолжительность отдыха до 24 ч, то время жизни образцов фанеры возрастет в 2,2 раза.

Полученные данные позволяют прогнозировать долговечность не только в широком интервале постоянных нагрузок и температур, но и при переменном их действии.

Список литературы

1. Аскадский, А. А. Деформация полимеров / А. А. Аскадский. – Москва : Химия, 1973. – 448 с.
2. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров : учеб. пособие для хим. и хим.-технол. специальностей вузов / А. А. Тагер. – 2-е изд. – Москва : Химия, 1968. – 536 с.
3. Киселева, О. А. Прогнозирование работоспособности древесноволокнистых и древесностружечных композитов в строительных изделиях : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Киселева Олеся Анатольевна. – Тамбов, 2003. – 205 с.
4. Yartsev, V. P. Prediction of the Building Materials Performance in Products and Structures / V. P. Yartsev, O. A. Kiseleva // Advanced Materials & Technologies. – 2019. – № 4(16). – P. 35–52. doi: 10.17277/amt.2019.04.pp.035-051
5. Кольцов, П. М. Прогнозирование долговечности ламинированных древесноволокнистых композитов строительного назначения : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Кольцов Павел Михайлович. – Тамбов, 2010. – 178 с.
6. Ходаев, А. А. Влияние режима циклических нагружений на прочность древесных композитов / А. А. Ходаев, О. А. Киселева // Перспективы развития науки и образования : сборник научных трудов Межд. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2013. – Часть 5. – С. 146–148.
7. Киселева, О. А. Прогнозирование прочности, деформативности и долговечности строительной фанеры / О. А. Киселева, В. П. Ярцев, А. В. Сузюмов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 976–982.
8. Романов, А. Н. Разрушение при малоцикловом нагружении : монография / А. Н. Романов. – Москва : Наука, 1988. – 280 с.

9. СНиП 2.01.01–82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1983. – 136 с.

10. Kiseleva, O. A. Influence of Fluctuations in Temperature on Longevity of Chip Boards / O.A. Kiseleva, A.A. Mironov, V.P. Yartsev // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 1. – С. 91–94.

Physical and Technical Foundations of the Performance of Wood Composites under Cyclic and Variable Loads

© O. A. Kiseleva¹✉, V. P. Yartsev¹

¹ *Department of Building and Structure Design, kiseleva_oa@rambler.ru;
TSTU, Tambov, Russian Federation*

Keywords: deformation; durability; wood composites; variable loading; strength; fatigue; cyclic loading.

Abstract: Using particleboard and laminate as examples, the relationship between deformation processes and strength is described. The influence of various parameters (temperature, loading rate, and level) on these processes is considered. The effect of cyclic loading on the strength of particleboard and plywood is studied. The rest period between loading cycles was selected to extend the lifespan of materials. Long-term testing of wood composites under cyclic and variable load conditions was examined.

References

1. Askadsky A.A. *Deformatsiya polimerov* [Polymer deformation], Moscow: Khimiya, 1973, 448 p. (In Russ.)
2. Tager A.A. *Fiziko-khimiya polimerov* [Physico-chemistry of polymers], Moscow: Khimiya, 1968, 540 p. (In Russ.)
3. Kiseleva O.A. *PhD of Candidate's thesis (Engineering)*, Tambov, 2003, 205 p. (In Russ.)
4. Yartsev V.P., Kiseleva O.A. Prediction of the Building Materials Performance in Products and Structures, *Advanced Materials & Technologies*, 2019, no. 4(16), pp. 35-52. doi: 10.17277/amt.2019.04.pp.035-051
5. Koltsov P.M. *PhD of Candidate's thesis (Engineering)*, Tambov, 2010, 178 p. (In Russ.)
6. Khodaev A.A., Kiseleva O.A. *Sbornik nauchnykh trudov Mezhd. nauchno-prakticheskoy konfrentsii Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya* [Prospects for the development of science and education: Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference], Tambov, 2013, Part 5, pp. 146-148. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Kiseleva O.A., Yartsev V.P., Suzyumov A.V. [Forecasting the strength, deformability, and durability of construction plywood], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 976-982. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Romanov A.N. *Razrushenie pri malociklovom nagruzhenii* [Destruction under low-cycle loading: a monograph], Moscow Nauka, 1988, 280 p. (In Russ.)
9. СНиП 2.01.01–82. *Stroitel'naya klimatologiya i geofizika* [Construction climatology and geophysics], Moscow: Stroyizdat, 1983, 136 p. (In Russ.)

10. Kiseleva O.A., Mironov A.A., Yartsev V.P. Influence of fluctuations in temperature on longevity of chip boards, *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2003, vol. 9, no. 1, pp. 91-94.

Physikalische und technische Grundlagen des Verhaltens der Holzverbundwerkstoffe unter zyklischer und variabler Belastung

Zusammenfassung: Anhand von Spanplatten und Laminaten ist der Zusammenhang zwischen Verformungsprozessen und Festigkeit erörtert. Der Einfluss verschiedener Parameter (Temperatur, Belastungsgeschwindigkeit und -niveau) auf diese Prozesse ist betrachtet. Es ist die Wirkung zyklischer Belastung auf die Festigkeit von Spanplatten und Sperrholz untersucht. Die Ruhezeit zwischen den Belastungszyklen ist so gewählt, dass die Lebensdauer der Materialien verlängert wird. Es sind Langzeitversuche an Holzverbundwerkstoffen unter zyklischer und variabler Belastung betrachtet.

Fondements physiques et techniques de la performance des composites de bois dans les cycles et des charges variables

Résumé: A l'exemple des panneaux de particules et du stratifié est décrite la relation entre les processus de déformation et la résistance. Est prise en compte l'influence de différents paramètres (température, vitesse et niveau de charge) sur les données du processus. Est étudié l'effet du chargement cyclique sur la résistance des panneaux de particules et du contreplaqué. Est choisie la durée de repos entre les cycles de charge pour prolonger la durée de vie des matériaux. Sont examinés les essais à long terme des composites de bois dans le mode d'essais cycliques et de charges variables.

Авторы: *Киселева Олеся Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация.