

На правах рукописи



Кольцов Павел Михайлович

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ
СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Тамбовский государственный технический университет.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Киселева Олеся Анатольевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Королев Евгений Валерьевич

кандидат технических наук, доцент
Папфилов Дмитрий Вячеславович

Ведущая организация: ГОУВПО Липецкий государственный
технический университет

Защита диссертации состоится «22» октября 2010 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.033.01 при ГОУВПО Воронежский государственный архитектурно-строительный университет по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, ауд. 3220.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «19» сентября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Власов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Древесные композиты получили широкое распространение в строительстве. Их популярность объясняется относительной простотой изготовления и невысокой стоимостью, а также определенным набором свойств – высокой прочностью, низкой теплопроводностью, хорошими акустическими свойствами.

В конце XX столетия в Швеции был разработан новый древесный пластик – ламинат. Он был призван заменить дорогостоящий паркет, с чем успешно справился. Сохраняя теплофизические и экологические свойства своего предшественника, ламинат значительно экономичнее, а также имеет и ряд преимуществ. Благодаря своему составу он может иметь любой рисунок, конструкция панелей обеспечивает быстрый монтаж, его не надо покрывать лаком. К недостатку ламината можно отнести разве что недостаточно высокую водостойкость.

Обладая массой достоинств, ламинат используется в настоящее время только в качестве напольного покрытия. В связи с этим, большое внимание уделяется изучению его верхнего полимерного слоя, а не всего изделия в целом. При этом, прочностные и деформационные способности ламината не раскрыты в должной мере, а сам ламинат не вырабатывает свой ресурс по прочности.

Срок службы ламината определяется, в основном, качеством износоустойчивого покрытия, но окончание его эксплуатации может быть вызвано приходом в негодность древесной основы композита из-за губного действия воды. Исходя из этого, возникает необходимость в изучении работоспособности ламината как изделия в целом.

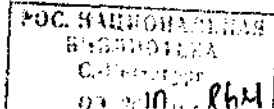
Для обеспечения системности проводимых исследований работа в своей основе опирается на термофлуктуационную теорию разрушения и деформирования твердых тел, позволяющую комплексно оценить действие основных эксплуатационных факторов (нагрузка, температура, время) и наиболее вероятных второстепенных (влажность, УФ-облучение, тепловое старение, вода и др.) на объект исследования.

Работа выполнена в рамках гранта Министерства образования и науки РФ. 2.1.1/660 по теме «Исследование многослойных композитных тонкостенных конструкций, подверженных термоэлектромеханическому нагружению».

Целью работы является изучение и повышение долговечности ламината в широком диапазоне условий эксплуатации с доработкой методики прогнозирования его работоспособности.

Исходя из этого, в работе поставлены следующие задачи:

1) исследование закономерностей разрушения и деформирования ламината и MDF в широком диапазоне напряжений и температур;



2) изучение влияния различных эксплуатационных факторов (тепловое старение, УФ-облучение, вода, переменность нагружения и т.д.) на долговечность ламината и MDF;

3) повышение водостойкости ламината путем его модификации;

4) исследование выполнимости принципа Бейли при действии различных факторов (температуры, воды, нагрузки) для долговечности древесных композитов;

5) усовершенствование методики прогнозирования долговечности (работоспособности) древесных композитов;

6) выдача рекомендаций по расширению области применения ламината.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1 Впервые выявлены качественные зависимости прочностной и деформационной работоспособности ламината и MDF с позиций термofлуктуационной концепции в широком интервале основных воздействий.

2 Разработан способ учета влияния второстепенных воздействий (УФ-облучения, теплового старения, воды) на долговечность ламината и MDF через рассмотрение их взаимодействия на структурном уровне.

3 Впервые рассмотрено влияние переменности нагружения, значительно осложняющего условия работы материала в конструкциях, на долговечность древесных композитов.

4 Повышена водостойкость ламината, посредством модификации сополимерами, что при более низкой стоимости полученного продукта по сравнению с существующими импортными водостойкими аналогами позволяет повысить конкурентоспособность отечественных производителей ламината.

5 Усовершенствована методика прогнозирования работоспособности (долговечности) древесных композитов в строительных изделиях и конструкциях в широком диапазоне эксплуатационных воздействий, с учетом выполнимости принципа Бейли и величины разброса долговечности.

6 Даны рекомендации с обоснованием и расчетами, выполненными по предложенной методике, по расширению области применения ламината.

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечивается проведением экспериментов с достаточной воспроизводимостью; статистической обработкой полученных данных с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний; сопоставлением результатов полученных разными методами, а также сравнением их с аналогичными результатами, полученными другими авторами. Достоверность теоретических решений проверялась экспериментальным путем.

Практическое значение работы. Усовершенствована методика прогнозирования работоспособности (долговечности, длительной прочности или текучести, термостойкости или теплостойкости) древесных композитов в широком диапазоне эксплуатационных параметров. Её применение позволит более рационально использовать древесные композиты в строительных изделиях. Разработана технология модификации ламината, позволяющая повысить его водостойкость. Даны рекомендации по расширению области применения ламината в элементах строительных конструкций.

Внедрение результатов. Теоретические разработки и результаты экспериментальных исследований использованы на предприятиях ООО «СУ Донское», ООО «АС-нова» и ООО «Архстрой».

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на V и VI Международных научно-технических конференциях «Эффективные строительные конструкции: теория и практика» (Пенза, 2006 и 2007 гг.); Всероссийской научно-практической конференции «Водные и лесные ресурсы России: проблемы и перспективы использования, социальная значимость» (Пенза 2006 г.); V и VI Международных научно-практических Интернет – конференциях «Состояние современной строительной науки» (Полтава, 2007 и 2008 гг.); Международной научно-технической конференции «Композиционные строительные материалы» (Пенза, 2007 г.); VIII и IX Международных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (Тула, 2007 и 2008 гг.); Международной научно-практической конференции «Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре» (Липецк, 2007 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 17 печатных трудов, среди них 15 статей (из них три входят в перечень ВАК и одна опубликована в рецензируемом журнале), два тезиса.

Автор защищает:

1) результаты исследований закономерностей разрушения и деформирования ламината и MDF в широком диапазоне напряжений и температур;

2) результаты исследований по влиянию различных эксплуатационных факторов (тепловое старение, УФ-облучение, вода, переменность нагружения) на долговечность ламината и MDF;

3) результаты исследований по повышению водостойкости ламината, путем его модификации;

4) результаты исследования по выполнимости принципа Бейли при действии различных факторов (температуры, воды, нагрузки) для долговечности древесных композитов;

5) усовершенствованную методику прогнозирования долговечности (работоспособности) древесных композитов;

6) рекомендации по расширению области применения ламината.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, и приведена на 178 страницах, из которых 133 страницы машинописного текста, включая 31 таблицу, 69 рисунков, список литературы из 113 наименований и три приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели исследований и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе проведен обзор литературных источников.

В настоящее время древесные композиты используются в строительстве в качестве конструкционных, теплоизоляционных и отделочных материалов. Такой широкий спектр их применения связан с большим количеством наименований: ДСП, ДВП, фанера, ламинат, MDF, древеснослоистый пластик, и разнообразием их свойств. Изучением физико-механических свойств древесных композитов занимались такие ученые, как В.Д. Бекетов, Е.Д. Мерсов, И.Г. Корчаго, С.Л. Ребрин, И.А. Отлев, Г.М. Шварцман, В.М. Хрулев, В.И. Харчевников, Е.М. Разиньков, А.А. Поздняков и др.

Ламинат, являясь одним из самых современных древесных пластиков, занимает более 10 % мирового рынка напольных покрытий. Его популярность объясняется сочетанием лучших качеств традиционного паркета и приемлемой цены. Он представляет собой слоистый материал, состоящий из износостойчивого полимерного покрытия, декоративной бумаги, древесной основы и стабилизирующего слоя.

Ламинаты разделяются по классам: для коммерческого (31, 32, 33) и домашнего (21, 22, 23) использования. Существует европейская норма (EN685), включающая в себя 18 тестов: на абразивную устойчивость, светостойкость, ударпрочность, антистатичность, набухание, устойчивость к пятнообразованию, сопротивление скольжению, коэффициент выделения формальдегида и др., после проведения которых ламинату присваивается тот или иной класс.

Для защиты ламинатов от прямого попадания воды в качестве основы используется плита HDF повышенной плотности, края торцов покрываются специальным восковым составом, смолами, клеем или в процессе производства используется декоративная бумага с водоотталкивающей пропиткой. Но чем больше подобных мер предпринимается, тем выше оказывается конечная стоимость напольного покрытия.

Из приведенных литературных данных видно, что без внимания остается работа ламината во времени при комплексном сочетании нагрузок и температуры, осложняемая действием второстепенных факторов. Подобного рода исследования возможны с позиций термофлуктуационной теории разрушения и деформирования твердого тела.

Данная диссертационная работа как раз и посвящена изучению работоспособности ламината и MDF в различных условиях эксплуатации. Эти исследования позволят более полно использовать ресурсы материалов и создать теоретическую базу для проектирования из них строительных изделий и элементов конструкций.

Во второй главе описаны методические вопросы.

В качестве объектов исследований взяты ламинаты 31 и 32 классов, в том числе и водостойкие, и MDF как их основная составляющая. Для сравнения результатов в ряде испытаний использовались ДВП, ДСП и древесина.

Для проведения длительных и кратковременных испытаний при разных видах нагружения использовались шестипозиционный стенд и установка рычажного типа. Линейное термическое расширение ламината определялось с помощью оптического дилатометра. Специальная камера искусственного фотостарения и термошкаф применялись для определения стойкости ламината к действию УФ-облучения и теплостарения.

В данной главе также изложена термофлуктуационная концепция разрушения и деформирования твердых тел, которая рассматривает взаимосвязано три фактора: нагрузку, температуру и время. Суть концепции заключается в следующем: определяющим при разрушении является тепловое движение атомов, а нагрузка лишь способствует облегчению данного процесса и придает ему направленность. С течением времени в материале накапливаются необратимые дефекты, приводящие в итоге к разделению тела на части. Таким образом, долговечность материалов описывается обобщенным уравнением С.Н. Журкова, доработанным С.Б. Ратнером и В.П. Ярцевым:

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

$$\text{для параллельных прямых } \tau = \tau_m \exp \left(\frac{U}{R \cdot T} - \beta \cdot \sigma \right), \quad (2)$$

$$\text{для обратного пучка } \tau = \tau_m' \exp \left[\frac{U_0' - \gamma' \sigma}{R} (T_m'^{-1} - T^{-1}) \right], \quad (3)$$

где τ_m – период колебания кинетических единиц, [с]; U_0 – эффективная энергия активации разрушения, кДж/моль; γ – структурно-механическая константа, кДж/(МПа×моль); β – структурно-силовой фактор, 1/МПа;

T_m – предельная температура существования твердого тела, К; σ – напряжение, МПа; T – температура, К; τ_m , τ_0 , U_0 , U , γ , T_m , – эмпирические константы.

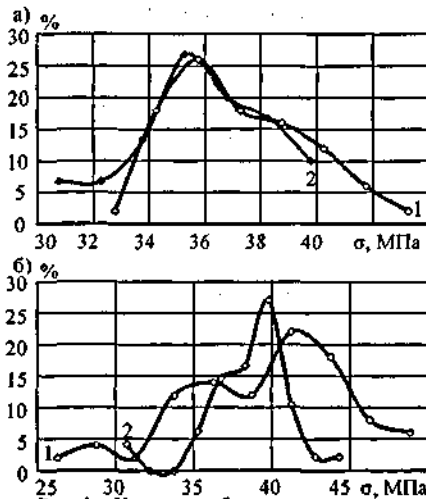


Рис. 1 – Кривые разброса прочности при поперечном изгибе:

- а) ламината Kronospan 31':
1- при +20 °С, 2- при +40 °С;
б) 1 – твердого ДВП, 2 – MDF

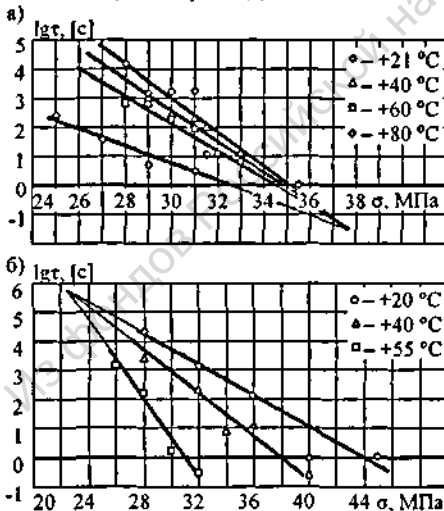


Рис. 2 – Зависимости долговечности от напряжений и температур при поперечном изгибе: а) для ламината Kronospan 31', б) для MDF (Кострома)

Описаны методы определения физических и эмпирических констант при разрушении и деформировании. Для получения более надежных результатов экспериментальные данные подвергались статистической обработке.

В третьей главе изучены закономерности разрушения и деформирования ламината и MDF. На кривых разброса прочности ламината, MDF и ДВП (рис. 1) наблюдается наличие двух пиков. Первый, явно выраженный, связан с наиболее опасными и крупными дефектами, присутствующими в древесном наполнителе, а второй – с дефектами связующего. Более гладкое сопряжение пиков ламината и MDF свидетельствует о более высокой однородности материалов по сравнению с ДВП. Самым высоким качеством из рассмотренных материалов обладает ламинат, что подтверждается наименьшей площадью кривой разброса.

В ходе проведенных длительных испытаний для ламината и MDF были получены зависимости прочностной долговечности от напряжений и температур (рис. 2), которые описываются уравнениями (1) и (2).

В более ранних работах было показано, что «обратный пу-

чок» характерен для материалов с ориентированной структурой, а «прямой» – для слоистых. Ламинат, в отличие от MDF, как раз имеет слоистое строение, чем объясняется различие видов зависимостей для долговечности.

Ламинат по-разному работает в интервалах температур до плюс 40 °С (плюс 60 °С) и выше (рис. 2а). В первом случае его работоспособность определяется древесным наполнителем, что подтверждается величинами термофлуктуационных констант (табл. 1). При этом материал разрушается хрупко, на что указывает большой разброс экспериментальных результатов. С повышением температуры полимерная матрица ламината переходит в вязко-текучее состояние, что приводит к изменению механизма его разрушения и уменьшению площади под кривой разброса (рис. 1а).

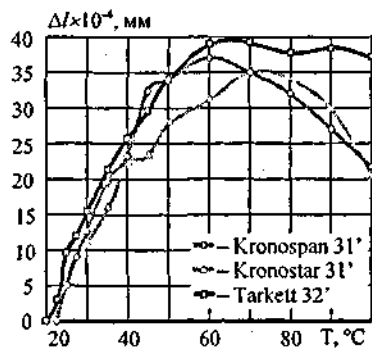


Рис. 3 – Дилатометрические кривые ламинатов

Фазовые изменения, происходящие в ламинате с повышением температуры, были также зафиксированы и на дилатометрических кривых (рис. 3). При температуре плюс 45 °С на них наблюдается излом, а после +60...+70 °С образцы даже начинают сужаться, что вызвано доотверждением связующего (исключение составляет водостойкий ламинат).

Для водостойкого ламината с повышением температуры изменения зависимости не наблюдается. Это говорит о влиянии дополнительного поли-

мерного каркаса на процесс разрушения.

Таблица 1

Физические и эмпирические константы ламината и MDF при разрушении (поперечный изгиб)

Материал		Диапазон температур	Величины констант			
			τ_m (τ_m), с	T_m (T_m), К	U_0 (U_0), кДж/моль	γ (γ), кДж/(МПа×моль)
Ламинат	Kronospan 31'	<+60 °С	$10^{-1,35}$	651	232	6,23
		>+60 °С	$10^{-1,35}$	392	723	19,23
	Kronostar 31'	<+40 °С	10^{-2}	552	299	7,17
		>+40 °С	10^{-2}	377	743	17,50
	Tarkett 32'	-	$10^{-4,38}$	451	404	6,90
MDF (Kronostar)	Кострома	-	$10^{5,7}$	280	-478	-21,20
	Воронеж	-	$10^{7,8}$	264	-147	-10,17

Из табл. I видно, что при температурах до плюс 40 °С (плюс 60 °С) значения τ_m и U_0 близки аналогичным константам других древесных композитов (например ДСП). Величина U_0 соответствует энергии активации разрушения целлюлозы, что указывает на определяющую роль древесного компонента при разрушении. Отличие константы T_m связано с применением разных полимерных смол при изготовлении древесных композитов.

Для водостойкого ламината по сравнению с обычным характерно увеличение константы U_0 и снижение τ_m и T_m . Более низкое значение τ_m свидетельствует о большей однородности материала, а увеличение U_0 , объясняется наличием дополнительного полимерного каркаса внутри плиты HDF, который также вовлечен в процесс перераспределения напряжений внутри материала.

Для MDF и ДВП значения констант довольно близки, что ожидаемо, ввиду схожести строения самих материалов.

Так как ламинат используется в конструкциях полов, важным вопросом является изучение его деформационной долговечности. Деформационные характеристики ламината наиболее сильно зависят от величины нагрузки при сохранении длительности ее приложения. Повышение температуры наоборот, практически не сказывается на них. Также как и другие древесные композиты (фанера, ДСП), ламинат имеет малую величину остаточных деформаций (4...5 %).

Ранее для прогнозирования деформации материалов с помощью метода графоаналитического дифференцирования по кинетическим кривым определялась скорость их деформирования. Однако, при подробном рассмотрении данного метода, в нем были выявлены некоторые недостатки. Во-первых, отыскание установившейся скорости деформирования материала путем проведения касательной с конечного участка кривой в координатах $lgv-\epsilon$ до оси с $\epsilon=0$ не дает достаточно точных результатов, поскольку это значение не соответствует конечному участку, оно сильно завышено. Во-вторых, резкий перегиб кинетических кривых, наблюдаемый в первые две минуты, не позволяет описать всю зависимость одним уравнением. Поэтому в работе был теоретически развит способ определения деформации, исходя из которого:

$$\epsilon = \epsilon_n + v \cdot t, \quad (4)$$

где ϵ – полная деформация, %; ϵ_n – начальная деформация, %; v – установившаяся скорость деформирования, %/с; t – время определения деформации, с.

$$\epsilon = \epsilon_n \exp \left[-\frac{U_{0(\epsilon)} - \gamma_{(\epsilon)} \sigma \left(1 - \frac{T}{T_{m(\epsilon)}} \right)}{RT} \right], v = v_n \exp \left[-\frac{U_{0(v)} - \gamma_{(v)} \sigma \left(1 - \frac{T}{T_{m(v)}} \right)}{RT} \right], \quad (5)$$

где ε_m – мгновенная деформация материала, %; $U_{0(e)}$ – эффективная энергия активации деформации, кДж/моль; $\gamma_{(e)}$, $\gamma_{(v)}$ – структурно-механический фактор, кДж/(МПа×моль); $T_{m(e)}$, $T_{m(v)}$ – предельная температура размягчения материала, К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль×К); σ – напряжение, МПа; T – температура, К; v_m – начальная скорость деформирования материала, %/с; $U_{0(v)}$ – эффективная энергия активации скорости, кДж/моль.

Зависимости начальной деформации и скорости деформирования ламината от обратной температуры и нагрузки, также представляют собой веерообразные семейства прямых.

Значения констант, входящих в уравнения (5) представлены в табл. 2. По данному методу также определены константы для ДСП и древесины, экспериментальные данные по которым были взяты из работ О.А. Киселевой и М.А. Сашина.

Таблица 2
Деформационные константы древесных композитов (сжатие)

Вид материала	Марка материала (плотность кг/м ³)	$\lg \varepsilon_{m(e)}$, [%]	$T_{m(e)}$, К	$U_{0(e)}$, кДж/моль	$\gamma_{(e)}$, кДж/(МПа×моль)	$\lg v_{m(e)}$, ($\lg v_{m(e)}$), %/с	$T_{m(v)}$, К ($T_{m(v)}$), К	$U_{0(v)}$ ($U_{0(v)}$), кДж/моль	$\gamma_{(v)}$ ($\gamma_{(v)}$), кДж/(МПа×моль)
ДСП	700	0,815	317	919	56,98	-3,66	319	96	7,19
	800	0,404	246	-31,92	-1,36	-2,77	419	-3,54	1,23
Ламинат	Kronospan 31'	1,104	234	-0,31	0,224	-3,336	321	-228	-10,13
	Tarkett 32'	0,913	157	-0,96	0,143	-3,484	304	45,8	3,63
Сосна	2 сорт	-1,54	151	-13,65	-0,26	-2,29	560	-7,61	1,12

Полученные константы позволяют прогнозировать деформацию материала, достигаемую к определенному времени в различных эксплуатационных условиях.

Ламинат как напольное покрытие постоянно подвергается вдавлению различных предметов (ножки мебели, каблуки обуви, тяжелые предметы). Поэтому для него была получена зависимость времени погружения индентора до заданной глубины от твердости и температуры, представляющая собой, «прямой пучок», описываемый уравнением (1). С помощью графоаналитических перестроений определены термофлуктуационные константы ламината при пенетрации (табл. 3).

Таблица 3
Константы ламината Kronostar 31' при пенетрации

$\lg \Theta_{m_s}$, [с]	T_m , К	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(МПа×моль)
-0,9	344	694	26,3

По сравнению со значениями констант характеризующими разрушение материала при поперечном изгибе, при пенетрации U_0 имеет большее значение, а T_m – меньшее, что свидетельствует о превалирующей роли деформационных процессов.

Полученные данные позволяют прогнозировать прочностную и деформационную долговечность ламината в широком диапазоне нагрузок и температур.

В четвертой главе исследовано влияние второстепенных факторов (температура, УФ-облучение, вода) на работоспособность ламината.

После действия теплового старения и УФ-облучения дилатометрические кривые остаются без изменения, т.е. структура ламината сохраняется (рис. 3).

Однако данные факторы сказываются на механических характеристиках материала. В течение первых 10 ч теплового старения (рис. 4) прочность ламината немного увеличивается, что связано с доотверждением связующего. Затем она начинает медленно снижаться, а после 300 ч наблюдается резкое падение прочности на 29 %, что вызвано старением полимерной составляющей.

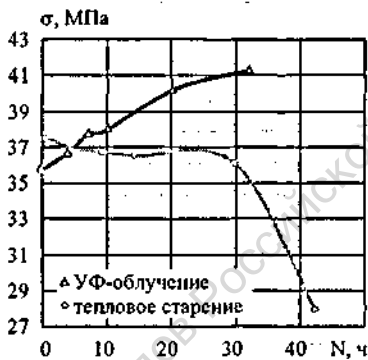


Рис. 4 – Влияние старения на прочность ламината Кронотран при поперечном изгибе

УФ-облучение не опасно для ламината. В первые 200 ч действия данного фактора для ламината наблюдается значительное упрочнение, после чего процесс замедляется. В результате, после 300 ч прочность композита составляет 114 % от первоначальной. Увеличение механических характеристик ламината объясняется упрочнением древесной составляющей, а присутствие верхней защитной пленки способствует сохранению необходимого количества связей древесина-полимер. MDF под действием данных факторов ведет себя иначе. В данном случае, УФ-

облучение приводит к снижению прочности, а тепловое старение – к ее увеличению. Из полученных результатов можно сделать вывод, что присутствие у ламината верхней полимерной пленки способствует защите основного слоя HDF от пагубного действия УФ-облучения.

Под действием рассмотренных факторов изменяется не только прочность, но и долговечность ламината, что может быть учтено при помощи определенных экспериментальным путем поправок:

$$\Delta^{(0)} = k_1 \cdot (0,025 \cdot \sigma + 0,45), \quad \Delta^1 = k_1 \cdot (0,0325 \cdot \sigma - 0,205), \quad (6)$$

где i – длительность действия фактора, ч; k – переводной коэффициент (табл. 4), σ – напряжение, МПа.

Таблица 4

Величины переводных коэффициентов

Вид фактора	Длительность действия фактора i , ч						
	10	50	100	150	200	250	300
Теплостарение	1,72	1,11	0,98	0,85	0,95	1,00	0,38
УФ-облучение	0,02	0,19	0,46	0,73	1,00	1,11	1,21

После 500 ч УФ-облучения или 500 ч теплового старения для MDF наблюдается сохранение зависимости $\lg t(\sigma, T)$, которая очень близка к исходной. Следовательно, изменения структуры материала не происходит. Аналогичный факт в отношении ДСП был установлен ранее другими исследователями. В табл. 5 приведены значения констант, позволяющие прогнозировать долговечность плит MDF после старения.

Таблица 5

Эмпирические константы MDF при разрушении (поперечный изгиб) после старения

Факторы старения	Температурный интервал	Величины констант			
		τ_m', c	T_m', K	$U_0', kДж/моль$	$\gamma', kДж/(MPa \times моль)$
УФ, 500 ч	+20...+40 °С	$10^{5,7}$	226	-133	-5,48
	+40...+55 °С	$10^{5,7}$	293	-742	-30,67
+80 °С, 500 ч	+20...+40 °С	$10^{7,8}$	208	-67	-4,10
	+40...+55 °С	$10^{7,8}$	280	-288	-17,47

К наибольшему изменению свойств ламината приводит действие на его основу воды. Поэтому вопросу их взаимодействия и повышению водостойкости плиты HDF в работе было уделено большое внимание.

С термоактивационных позиций получены закономерности водопоглощения ламината и MDF во времени при различных постоянных температурах, описываемые, по аналогии с предложенным методом определения деформаций, уравнением:

$$w = w_0 + v \cdot t \quad (7)$$

где w – прогнозируемое водопоглощение, %; w_0 – начальное водопоглощение, %; v – скорость водопоглощения %/с; t – время определения величины водопоглощения, с;

Начальное водопоглощение и скорость процесса описываются уравнением вида Аррениуса:

$$w_1 = w_0 \exp\left(-\frac{E_w}{RT}\right), v = v_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (8)$$

где w_0 – предэкспоненциальный множитель, %; E_w – эффективная энергия активации водопоглощения, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль×К); T – температура, К; v_0 – предэкспоненциальный множитель, %/с; E – эффективная энергия активации скорости водопоглощения, кДж/моль.

Величины констант, входящих в уравнения (8) приведены в табл.6.

Таблица 6

Кинетические константы водопоглощения ламината и MDF

Вид материала	$\lg w_0$, [%]	E_w , кДж/моль	$\lg v_0$, [%/с]	E , кДж/моль	w , %
Ламинат Kronospan 31'	12,2280	65,30	3,7200	41,60	9,16
MDF	7,5032	34,92	0,3507	18,73	41,42

Примечание – Величина водопоглощения рассчитана при 293 К к 5 ч замачивания

Для удобства проведения экспериментов и большей стабильности получаемых результатов, образцы были подвержены всестороннему доступу воды. В действительности вода проникает в ламинат через стыки панелей. Таким образом, водопоглощение и набухание материала в реальных условиях эксплуатации ниже, чем в лабораторных. Перейти от всестороннего замачивания к проникновению воды через стык можно при помощи коэффициентов, преобразующих уравнение (7):

$$w = k_w \cdot w_1 + k_v \cdot v \cdot t, \quad (9)$$

где k_w и k_v – коэффициенты, учитывающие реальные условия проникновения воды через стык панелей ламината.

Величины коэффициентов определены экспериментальным путем и составляют: $k_w=0,426$ и $k_v=1$ для ламината Kronostar 31' и $k_w=0,701$ и $k_v=1$ для водостойкого ламината Magnific 32'.

Полученные данные позволяют прогнозировать водопоглощение ламината и MDF в широком диапазоне температур.

Для оценки влияния воды на долговечность материала в работе были проведены длительные испытания ламинатов (Kronostar 31' и водостойкого Magnific 32') подверженных действию воды (рис. 5). Водостойкие свойства ламината Magnific более заметны при длительном действии воды: после 1 ч замачивания прочность ламината Kronostar выше, чем для Magnific. Как выяснилось, определенное значение имеет и характер действия воды (циклическое или непрерывное). При циклическом действии воды долговечность ламината Magnific опустилась на уровень ламината Kronostar. Так как для древесных композитов принцип Бейли вы-

полняется от действия воды, то снижение долговечности водостойкого ламината при дискретном замачивании определяется наличием дополнительного полимерного каркаса, нестойкого к данному характеру нагружения.

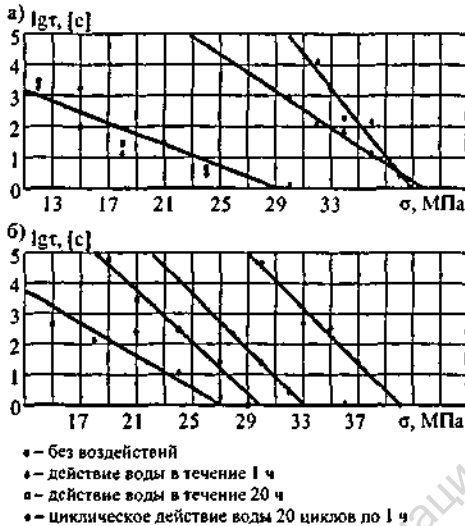


Рис. 5 – Зависимости долговечности от напряжений при поперечном изгибе после действия воды для ламинатов: а) Kronostar 31, б) Magnific 32

Пропитка практически всеми использованными модификаторами (за исключением Эмульсии 252) снижает водопоглощение и набухание ламината до уровня водостойкого (табл. 7). Это происходит за счет изоляции древесных частиц пропитывающим веществом, которое, проникая в стенки их клеток, связывается с ними и препятствует доступу воды.

Таблица 7

Водопоглощение ламината (%) до и после его модификации

Длительность действия воды	Водостойкий ламинат Tarkett	Ламинат Kronostar	Ламинат Kronostar, модифицированный			
			Эмукрилом М	Акратамом AS01	Акратамом AS02	Акратамом AS01M
2 ч	3,8	7,6	4,2	3,8	3,5	2,6
7 сут.	46,1	58,8	48,9	48,8	46,4	45,8

Однако, модификатор, находясь в жидком состоянии, оказывает пластифицирующий эффект на исходный композит, вследствие чего происходит снижение прочности последнего. Поэтому, после пропитки ламината

Ламинат имеет большую водостойкость, по сравнению с другими древесными плитами (в 1,6 раза выше, чем ДСП). Однако, ее величина недостаточна. Поэтому важной задачей является повышение водостойкости ламината, при относительно небольшом увеличении его стоимости.

Одним из путей решения данного вопроса является модификация материала. В качестве пропитывающих веществ были взяты Эмукрил М, Эмульсия 252, Акратам AS01, Акратам AS02 и Акратам AS01M (морозостойкий). Они имеют акриловую основу и инертны по отношению к древесному наполнителю.

нат подвергался термообработке при плюс 80 °С (табл. 8), приводящей к полимеризации сополимера (что можно отчетливо видеть на полученных микрофотографиях) и его сшиванию с древесным наполнителем.

На основании полученных данных был определен оптимальный режим модификации ламината, который включает в себя два этапа: пропитку при плюс 20 °С в течение трех суток с последующей термообработкой при плюс 80 °С в течение 6 ч.

Таблица 8

Влияние термообработки на прочность ламината

Модификатор	Длительность пропитки	Прочность ламината, МПа						
		при термообработке (+80 °С) в течение						
		-	2 ч	4 ч	6 ч	8 ч	10 ч	17,5 ч
Эмукрил М	72 ч	13,59	24,24	25,37	26,19	-	24,51	24,20
Акратам AS01М	72 ч	-	-	28,64	29,94	32,54	32,23	-

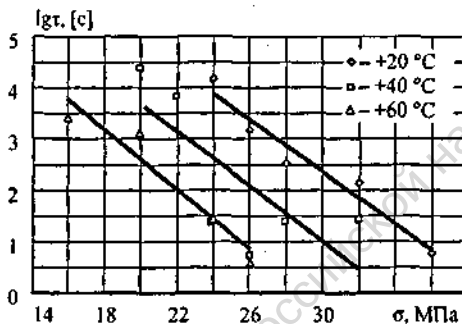


Рис. 6 – Зависимость долговечности модифицированного ламината Kronostar 31' от напряжений и температур при поперечном изгибе

ности $\lg(\sigma, T)$ от «прямого пучка» к параллельным прямым (рис. 6), что вызвано образованием дополнительных слабых связей. Данная зависимость описывается уравнением (2). Величины констант входящих в него представлены в табл. 9.

Таблица 9

Термофлуктуационные константы модифицированного ламината Kronostar 31' при разрушении (поперечный изгиб)

$\lg \tau^*$	$\beta, 1/\text{МПа}$	$U, \text{кДж/моль}$
-2,3	0,26	68,85

Наилучшими параметрами по водопоглощению, набуханию и прочности обладает ламинат, модифицированный Акратамом AS01М. После воздействия воды в течение 18 ч, коэффициент водостойкости такого материала составляет 0,92, что в 1,4 раза выше, по сравнению с не модифицированным ламинатом. Необходимо отметить, что после модификации ламината Акратамом AS01М наблюдается изменение вида зависи-

Таким образом, опираясь на принцип суперпозиций, влияние всех второстепенных воздействий на ламинат и MDF может быть учтено с помощью полученных поправок к долговечности.

В пятой главе приводится усовершенствованная методика прогнозирования работоспособности ламината и других древесных композитов, основы которой приведены в диссертации О.А. Киселевой. В данной работе в методику было внесено три пункта: учет разброса долговечности, переменности нагружения и выполнимости принципа Бейли.

Действие переменных напряжений можно учесть с помощью поправок к долговечности: $\Delta=0,375 \cdot \sigma-8,3$ (твердое ДСП) и $\Delta=0,38 \cdot \sigma-11,44$ (ламинат). По сравнению с ДСП ламинат менее чувствителен к переменности нагружения, что объясняется более высокой однородностью его структуры и меньшей дефектностью, снижающей вероятность развития трещин в единице объема материала.

В работе было установлено, что для древесных композитов принцип Бейли выполняется как при разрушении, так и при деформировании от нагрузки и воды.

Долговечность древесных композитов с учетом разброса определяется следующим образом:

$$\lg \tau_{\text{мо}} = \lg \tau \pm k_{\text{др}} \cdot \varepsilon_{\text{лгт}}, \quad (10)$$

где $\lg \tau$ – долговечность, $k_{\text{др}}$ – коэффициент, учитывающий длительность испытаний (при $\lg \tau > 4$, $k_{\text{др}}$ составляет 0,04 для ламината Kronospan и 0,29 для ДСП), $\varepsilon_{\text{лгт}}$ – величина отклонения (табл. 10) определяется по уравнениям для долговечности: $\varepsilon_{\text{лгт}} = \lg \tau(\sigma_{\text{пк}}) - \lg \tau(\sigma_{\text{ср}})$, $\sigma_{\text{пк}}$ – напряжение, соответствующее пику на кривых разброса, МПа; $\sigma_{\text{ср}}$ – напряжение с обеспеченностью 0,93, МПа.

Таблица 10

Величины отклонений $\varepsilon_{\text{лгт}}$

Древесина	Твердая ДВП	Ламинат		
		Kronospan 31'	Kronostar 31'	Tarkett 32'
0,8664	0,6848	0,4376	0,6797	0,1924

Согласно усовершенствованной методике прогнозирования долговечности древесных композитов в строительных изделиях и элементах конструкций, осуществляется в следующей последовательности:

1 Для материала определяется вид напряженно-деформируемого состояния.

2 Определяется вид зависимости разрушения (или деформирования) и описывающее его уравнение, а также константы, входящие в него.

3 Определяются напряжения (σ), возникающие в материале, устанавливается температура эксплуатации (T), а также внутренние и внешние факторы, влияющие на работоспособность (концентраторы напряжения, агрессивные среды, климатические факторы и т.д.).

4 При установленных параметрах σ и T рассчитывается по уравнениям (1) – (3) или определяется с помощью диаграммы (рис. 7) теоретическая долговечность материала.

5 Проверяется выполнение принципа Бейли при различных воздействиях. Если данный принцип выполняется, то действие внешних факторов можно учесть с помощью поправок. Иначе, необходимо проведение натурных испытаний.

6 С помощью поправок определяется реальная долговечность материала с учётом действия переменных нагрузок, старения, агрессивных сред и т.д.

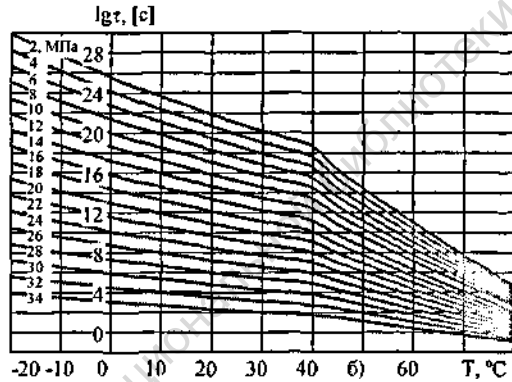


Рис. 7 – Диаграмма долговечности ламината Kronostar 31'

7 Уточняется долговечность материала с учетом разброса.

Высокая прочность и жесткость, защита в виде полимерной пленки от внешних воздействий, получение основы изделия из отходов переработки деловой древесины, определяют возможность использования ламината в качестве обшивок стеновых панелей, панелей покрытия, для устройства потолков в мансардных помещениях коттеджей и обшивок перегородок. Полы из ламината можно устраивать не только по сплошному подстилающему слою, но и по лагам.

Расширение области применения ламината подтверждается расчетами, выполненными по предложенной методике.

Для воплощения предложенных вариантов производителю необходимо прибегнуть к некоторым доработкам материала:

1) налаживание линии производства ламинированных плит различных размеров;

2) разработка системы крепления ламинированных обшивок к деревянному или иному каркасу.

В работе приведены примеры прогнозирования работоспособности ламината в строительных изделиях и конструкциях (табл. 11).

Таблица 11

Срок службы ламината в строительных изделиях и конструкциях

Конструкция	Расчетные напряжения, МПа	Средняя температура эксплуатации, °С	Срок службы, г	
			теоретическая	с учетом поправок
Пол по лагам	3,500	+20	>100	68
Пол по сплошному подстилающему слою	0,002	+20	>100	>100
Обшивка стеновой панели	4,000	+10	>100	90
Обшивка перегородки	10,000	+20	>100	67
Примечание – Поправки учтены от действия УФ-облучения, теплового старения и воды				

Технико-экономическое сравнение модифицированного ламината с существующим водостойким приведено в табл. 12.

Таблица 12

Технико-экономическое сравнение модифицированного и водостойкого ламинатов

Ламинат	Цена р./м ²	Козф. водостойкости	Снижение долговечности (Δlgt), [с]	Количество замен ламината при суммарном действии воды в течение 540 ч	Экономия средств на замене ламинированного покрытия, р./м ²
Kronostar модифицированный	380	0,92	0,73	1	970
Tarkett	450	0,75	4,91	3	0
Примечание – Величина снижения долговечности рассчитана после проикновения воды через стыки ламината в течение 180 ч.					

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Получены кривые разброса прочности древесных композитов и древесины. Они схожи по своему характеру, но имеют различную ширину кривой и высоту пиков, что говорит о неоднородности строения и различном качестве материалов. Самым стабильным (с точки зрения процесса разрушения) является ламинат, после которого следует MDF, ДВП, затем ДСП и, наконец, древесина. В отличие от чистой древесины, для композитов характерно присутствие двух пиков на кривой разброса.

Наиболее значимый из них определяется древесной составляющей, а второй пик связан с дефектами связующего.

2. С позиции кинетической (термофлуктуационной) концепции:

а) получены закономерности разрушения ламината и MDF при поперечном изгибе, представляющие собой веерообразные семейства прямых, описываемые уравнениями (1) и (3). Установлено, что для ламинатов, за исключением водостойкого, характерно разделение зависимости на разные интервалы температур, что связано с переходом полимера в иное фазовое состояние;

б) исследованы закономерности деформирования ламината сжатием. Они отличаются от зависимостей других древесных композитов резким замедлением роста деформаций уже после второй минуты нагружения независимо от температуры. Для описания полученных зависимостей используются уравнения (4), (5);

в) получены закономерности деформирования ламината при пенетрации. Несмотря на сложность протекающего процесса, в данном случае ведущая роль принадлежит деформированию, что подтверждается величинами термофлуктуационных констант.

3. Для ламината и MDF получены дилатометрические кривые, на основании которых был определен коэффициент линейного термического расширения. В интервале температур от плюс 20 до плюс 60 °С его значение для ламината ($3,11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) близко соответствующему α древесины ($3,00 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \dots 5,00 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), что указывает на ведущую роль древесного компонента в процессе термического расширения.

4. Изучено влияние УФ-облучения и теплостарения на работоспособность ламината и MDF. Установлено, что ультрафиолетовое излучение повышает прочность и долговечность ламината, а тепловое старение, в свою очередь, приводит к снижению прочности. Для MDF наоборот, снижение прочности характерно после воздействия УФ-облучения. Этот факт объясняется различным строением материалов, и, в первую очередь, наличием полимерной пленки у ламината, защищающей связующее древесной плиты от действия УФ-лучей. Определены поправки, позволяющие учитывать влияние данных факторов на долговечность ламината. Для MDF после длительного старения получены зависимости $I_{gt}(\sigma, T)$.

5. С термоактивационных позиций изучено водопоглощение ламината и MDF. Выявлено влияние воды на прочность и долговечность ламината. Характер действия воды также важен: для ламината *Kronospan* циклическое и непрерывное замачивание оказывает одинаковое влияние, а для водостойкого *Magnific* первое более опасно. Данный факт объясняется наличием у последнего дополнительной полимерной пропитки, нестойкой к данному характеру нагружения.

6. Подобраны сополимеры (Эмукрил М, Акратам AS01M) и технологические режимы модификации ламината: пропитка в течение трех суток и термообработка в течение 6 ч при плюс 80 °С. Установлено, что модификация ламината способствует снижению его водопоглощения и набухания. Применение Акратамов AS01M позволяет сохранить прочность ламината, но приводит к изменению вида зависимости для долговечности. Это происходит за счет образования внутри ламината дополнительных связей в результате полимеризации модификатора при повышенной температуре.

7. Для древесных композитов наблюдается выполнение принципа Бейли как при разрушении, так и при деформировании от действия нагрузки и воды. Таким образом, снижения долговечности от дискретного действия этих факторов можно суммировать.

8. Изучено влияние переменных напряжений на долговечность древесных плит. Определены поправки ($\Delta\tau=10^{-0,375\sigma+8,3}$ с для ДСП и $\Delta\tau=10^{-0,38\sigma+11,44}$ с для ламината), позволяющие учитывать влияние данного характера нагружения.

9. Усовершенствована методика прогнозирования работоспособности ламината и древесных композитов при различных условиях эксплуатации, с учетом выполнимости принципа Бейли, переменности нагружения и величины разброса. Даны рекомендации по расширению области применения ламината в качестве обшивок панелей покрытия, стеновых панелей, перегородок и др.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кольцов П.М. Повышение гидрофизических свойств ламината в стыках / П.М. Кольцов, О.А. Киселева, В.П. Ярцев // Строительные материалы. – М., 2008. – № 2. – С. 50-51. Лично автором выполнено 0,7 с.

2. Кольцов П.М. Конструкции с применением ламината для отделки помещений / П.М. Кольцов, О.А. Киселева, В.П. Ярцев // Жилищное строительство. – М., 2008. – № 3. – С. 32-33. Лично автором выполнено 0,7 с.

3. Кольцов П.М. О технологическом режиме модификации ламината / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // Известия Орел ГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел, 2008, – № 4/20(551). – С. 75-78. Лично автором выполнено 2 с.

4. Киселева О.А. Влияние нагрузки и температуры на долговечность ламината / О.А. Киселева, П.М. Кольцов, В.П. Ярцев // Строительные материалы XI века. – М., 2008. – № 1. – С. 34-35. Лично автором выполнено 0,7 с.

5. Кольцов П.М. Оценка разброса прочности древесины / П.М. Кольцов, О.А. Киселева; В.П. Ярцев // Водные и лесные ресурсы России: проблемы и перспективы использования, социальная значимость: Сб. статей Всероссийской научно-практ. конф. – Пенза, 2006. – С. 96-98. Лично автором выполнена 1 с.

6. Киселева О.А. О выполнении принципа Бейли при испытании на долговечность древесных композитов / О.А. Киселева, П.М. Кольцов // Труды ПГТУ: Сб. науч. ст. – Тамбов, 2006. – Вып. 19. – С. 148 -152. Лично автором выполнено 2,5 с.

7. Кольцов П.М. О влиянии условий эксплуатации на выполнение принципа Бейли для древесных композитов / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сб. статей V Международной научно-техн. конф. – Пенза, 2006. – С. 212-214. Лично автором выполнено 1,5 с.

8. Кольцов П.М. Оценка разброса прочности композитных материалов на основе древесины / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии: Сборник материалов VIII Международной научно-техн. конф. – Тула, 2007. – С. 31-32. Лично автором выполнена 1 с.

9. Кольцов П.М. Прогнозирование прочности и долговечности в реальных условиях эксплуатации / П.М. Кольцов, О.А. Киселева, В.П. Ярцев // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре: Сб. статей международной научно-практ. конф. – Липецк, 2007. – С. 240-244. Лично автором выполнено 1,7 с.

10. Киселева О.А. Влияние переменных нагрузок на долговечность ДСП / О.А. Киселева, П.М. Кольцов // Труды ПГТУ: Сб. науч. статей молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2007. – Вып. 20. – С. 202 - 205. Лично автором выполнено 2 с.

11. Кольцов П.М. Влияние воды на долговечность древесных плит / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // Состояние современной строительной науки – 2007 : Сб. науч. трудов. – Полтава: Полтавский ЦНТЭИ, 2007. – С.149-150. Лично автором выполнена 1 с.

12. Кольцов П.М. Закономерности разрушения ламината / П.М. Кольцов, О.А. Киселева, В.П. Ярцев // Композитные строительные материалы: теория и практика: Сб. статей Международной научно-техн. конф. – Пенза, 2007. – С.55-58. Лично автором выполнено 1,3 с.

13. Кольцов П.М. Деформационные процессы в древесных композитах / П.М. Кольцов, О.А. Киселева, А.В. Гусаров, А.В. Сузюмов // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сб. статей VI Международной научно-техн. конф. – Пенза, 2007. – С. 73-75. Лично автором выполнено 0,75 с.

14. Киселева О.А. Диаграммы для прогнозирования долговечности строительных материалов / О.А. Киселева, П.М. Кольцов // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сб. статей VI Международной научно-техн. конф. – Пенза, 2007. – С. 92-95. Лично автором выполнено 2 с.

15. Кольцов П.М. О старении ламината / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии: Сб. материалов IX Международной научно-техн. конф. – Тула, 2008. – С. 26-27. Лично автором выполнена 1 с.

16. Кольцов П.М. Влияние температурно-влажностных условий на термоактивационные закономерности разрушения ламината / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве. SIB-2008». – Воронеж, 2008. – Т.1, Кн.1. – С.222-227. Лично автором выполнено 3 с.

17. Кольцов П.М. Исследование прочностной и деформационной долговечности ламината / П.М. Кольцов, О.А. Киселева // VI Международная научно-практич. Интернет-конференция «Состояние современной строительной науки 2008». – Полтава: Полтавский ЦНТЭИ. 2008. С.138-142. Лично автором выполнено 2,5 с.

10 - 21598

2010А
21598

Из фондов Российской национальной библиотеки

Отпечатано ИП Першиным Р.В.
Тамбов, Советская, 21, а/я №7.

Подписано в печать 08.09.2010. Заказ № 080910-01.

Печать электрографическая. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Формат 60x90/16. Объем 1,5 усл.печ.л. Тираж 120 экз.