ний в древесине при сушке [Текст] / П. В. Акулич, К. Е. Милитцер // ИФЖ. – 1998. – Т. 71. – № 3. – С. 404-411.

5. Perré, P. A physical and mechanical model able to predict the stress field in wood over a wide range of drying conditions [Text] / P. Perré, J. Passard // Drying Technology Journal. – 2004. – Vol. 22. – N. 1-2. – pp. 27-44.

6. Кристенсен, Р. Введение в теорию вязкоупругости [Текст] / Р. Кристенсен. – М. : Мир, 1974. – 338 с.

7. Rodic, J. Mechanics of wood and composites [Text] / J. Rodic, A. Jayne // Van Nostraind Reinhold. New York. – 1982. – 712 p.

8. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л. Сегерлинд. – М. : Мир. – 1979. – 378 с.

9. Соколовський, Я. І. Алгоритмічне та програмне забезпечення системи моделювання та аналізу процесу сушіння капілярно-пористих матеріалів [Текст] / Я. І. Соколовський, І. М. Крошний // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2012. – № 732. – С. 306-315.

DOI: 10.12737/4523
УДК 630*812: 666.974

ВЛИЯНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ В ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии **Т. Н. Стородубцева**
аспирант кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии **А. И. Томилин**
ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»
tamara-tns@yandex.ru

ОТОЗВАНА/RETRACTED 02.09.2019

Весьма актуальным в настоящее время является использование в композиционных материалах отходов лесного комплекса, промышленности, сельского хозяйства и т. д.

Характеристики разрабатываемых композитов получены с применением формул науки о сопротивлении материалов, т.е. в пределах справедливости закона Р. Гука, на который эта наука опирается.

Исследованы зависимости основных механических характеристик полимерцементной матрицы композиционного материала от содержания в ней структурообразующих компонентов древесного композиционного материала – модифицирующих наполнителей (графитовая мука, мука из пиритовых огарков), замедлителя реакции кристаллизации (глицерин) бензолсульфокислоты (БСК) и армирующих заполнителей (стеклосетка и кусковые отходы переработки древесины – щепа), которые вводили в ее состав вначале порознь, а затем одновременно. В подавляющем большинстве случаев эти зависимости были представлены графоаналитическими моделями в виде полиномов третьей степени и построенными с их использованием кривыми, что подтверждалось минимальными значениями сумм квадратов

отклонений и возможностью количественно и качественно оценить физический смысл процессов при формировании микро- и макроструктуры, включая армирование, композиционного материала (КМ).

Так, свободный член полиномов представляет собой значение характеристики полимерцементной матрицы, снижение ее величины в начале наполнения – нарушение ее структуры и появление очагов концентрации напряжений, последующее повышение – оптимизация структуры нового композита. Основные зависимости приведены в табл. 1 и на рис. 1.

С их помощью возможно нахождение экстремальных значений характеристик, выявление зоны благоприятных свойств композитов.

В результате сделаны следующие выводы:

– введение в базовый состав полимерцементной матрицы графитовой и пиритовой муки повышает прочностные и упругие характеристики КМ, а также водостойкость, однако увеличение содержания графитовой муки в смеси приводит как бы к "смазке" частиц структуры отвержденного композита, их «скольжению» под нагрузкой. Такой же эффект наблюдается и при введении глицерина.

– роль армирующего заполнителя – щепы – заключается в повышении изгибной прочности древесного полимерцементного КМ и снижении его массы. С этим связана необходимость ее высушивания до влажности 7...8 %, что, кроме этого, обеспечивает пропитку древесины полимером, который, проникая в поры древесины в процессе отливки, отверждается в ней, защищая от гниения.

В результате исследований выявлено наличие синергетических эффектов, обеспечивающих формирование прочной структуры конечных композитов; введение модифицирующих и армирующих компонентов в состав полимерной песчаной матрицы, а также их гидрофобизация, повышение прочности при изгибе, почти в два раза, предельная растяжимость в двадцать раз и снижение величины модулей упругости материала и его массы в 1,5...2,0 раза.

Стремление соединить в композиционном материале давно известные вяжущие (цемент, известь, сера) и древесину в единый монолит не привело к созданию высокопрочных долговечных композитов. Общие причины несовместимости отвержденных минеральных вяжущих и древесины состоят в том, что эти материалы склонны насыщаться водой, которая может вызвать гниение древесины, инициировать выделение ею веществ (сахара), способных ингибировать процесс отверждения, например, цементного теста, а также разрушить любую матрицу под действием вызванного ею давления стесненного набухания.

Для увеличения характеристик изгиба предлагается применять армирующие каркасы из древесины любых пород. Прокладки выполняют в деревянном каркасе ту же роль, что наклонная стальная арматура в железобетонных элементах, т.е. они должны препятствовать возникновению трещин в направлении главных растягивающих напряжений, возникающих в элементах конструкций из древесного полимерцементного КМ под действием технологических и эксплуатационных факторов [1].

ОТОЗВАНА/RETRACTED 02.09.2019

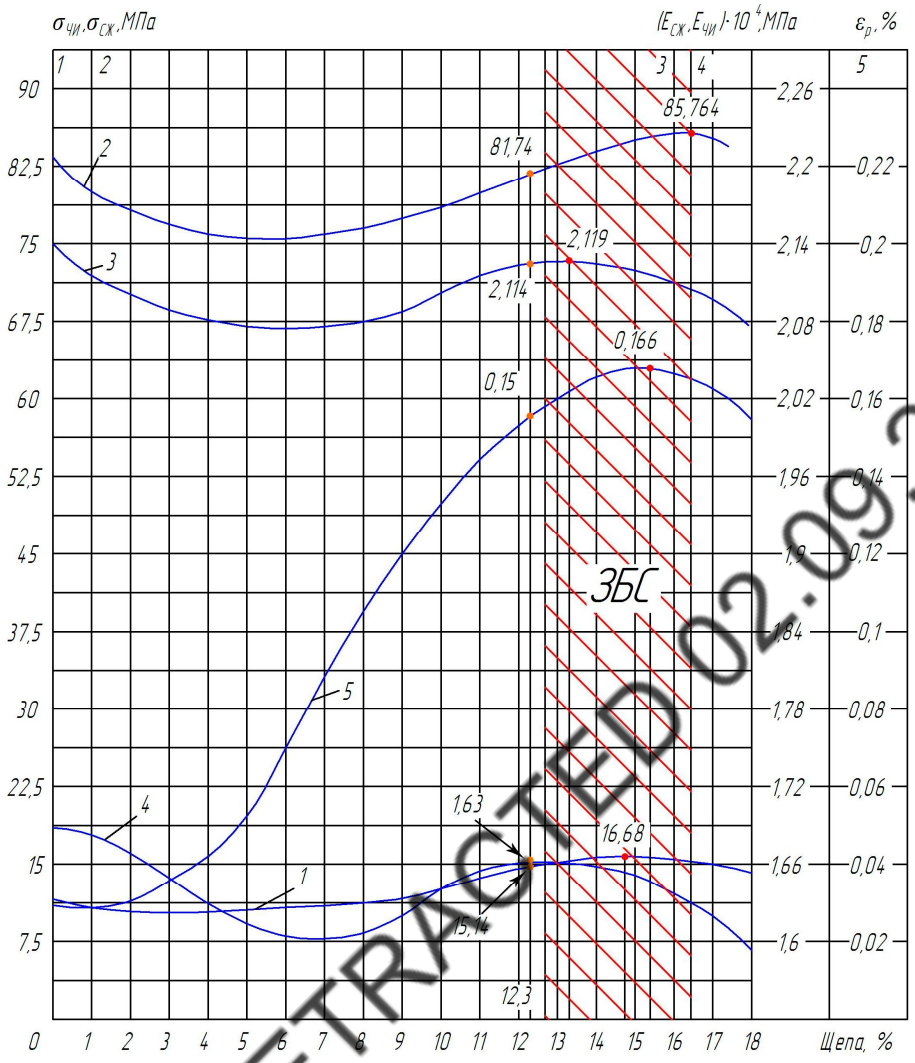

Рис. 1. Графики зависимости характеристик композиционного материала от содержания щепы

В связи с этим, были проведены экспериментальные исследования по определению упругих характеристик древесины некоторых лиственных и хвойных пород с учетом анизотропии ее свойств на сжатие вдоль и поперек волокон, а также на статический изгиб.

В соответствии с ГОСТ 16483.11–72 и ГОСТ 16483.10–72 нами были проведены экспериментальные исследования по определению пределов прочности (σ, МПа) образцов древесины на сжатие вдоль и поперек волокон. По полученным результатам (табл. 1) с использованием ПЭВМ были построены графики зависимости пределов прочности от влажности образцов (число образцов в серии равнялось двадцати – каждой породы древесины сосны, ели, лиственницы, березы, дуба) – показатели пределов прочности можно сравнивать только при одинаковой влажности древесины. Кроме влажности на показатели механических свойств древесины оказывает влияние и продолжительность действия нагрузок [2, 3].

Проанализировав данные табл. 1, мы

ОТОЗВАНА/RETRACTED 02.09.2019

Таблица 1

Результаты испытания на прочность образцов древесины хвойных и лиственных пород, выдержанных в воде в течение 80 суток

Порода древесины	Характеристика	Время выдержки образцов в воде, ч				
		0	2	24	144	1920
	Влажность W, %	12	30	50	100	150
Хвойные, предел прочности σ, МПа - вдоль (поперек) волокон						
Ель		45,0 (9,0)	19,0 (6,0)	18,5 (5,5)	17,5 (5,0)	17,0 (4,5)
Лиственница		61,5 (11,5)	25 (7,5)	23,5 (7,0)	23 (6,0)	21,5 (5,5)
Сосна		52,0 (10,0)	17,0 (6,5)	16,5 (5,0)	16,0 (4,5)	15,5 (4,0)
Лиственные, предел прочности σ, МПа – вдоль (поперек) волокон						
Дуб		55,5 (10,0)	30 (7,0)	27,5 (6,5)	26 (6,0)	24,5 (5,5)
Береза		54,0 (10,5)	26,5 (7,0)	22,5 (6,5)	22,0 (6,0)	21,0 (4,5)

сделали вывод, что наибольшими пределами прочности по сравнению с другими породами обладают образцы лиственницы, а наименьшими ели (при влажности 12 %); наибольшими – образцы дуба, наименьшими – липы, ели и сосны (при влажности более 30 %). С увеличением содержания связанной воды в древесине, жесткость ее снижается.

Нами были построены графики зависимости предела прочности образцов древесины при сжатии вдоль волокон и условного предела прочности этих же пород древесины при сжатии поперек волокон от влажности образцов, из которых следовало, что пределы прочности резко уменьшаются при увеличении влажности образцов древесины с 12 % до 45…50 % [4]. Дальнейшее увеличение влажности слабо влияет на изменение этой характеристики, что позволило сделать следующий вывод. Нет смысла длительное время выдерживать образцы в воде с целью определения пределов прочности при сжатии вдоль и поперек волокон. Достаточно лишь выдержать их в воде в течение 2 ч до предела насыщения водой 40…45 % (табл. 1) и провести испытания.

Далее в соответствии с ГОСТ 16483.9-73 были определены модули упругости (E, ГПа) образцов древесины, выше названных пород, результаты испытаний приведены в табл. 2.

Значения модулей упругости снижаются до тех пор, пока образцы не набрали 50 % влажности, после чего эта величина практически стабилизируется. Посредством пакета для всестороннего статистического анализа Statistica 8.0 найдена модель одной из кривых графика зависимости E–W (рис. 2, 3) и определена ее статистическая значимость.

Получены итоги регрессии первой, второй и третьей степени для зависимой переменной E [5]: каждая последующая лучше

ОТОЗВАНА/RETRACTED 02.09.2019

Таблица 2

Результаты испытаний по определению модуля упругости при статическом изгибе образцов древесины, выдержанных в воде в течение 6 суток

Порода	Влажность W, %			
	12	30	50	100
	Модуль упругости при статическом изгибе E, ГПа			
Сосна	12,4	8,4	5,6	5,5
Ель	9,8	6,0	4,8	4,6
Лиственница	14,2	10,5	5,4	5,3
Береза	14,3	10,9	6,0	5,7
Дуб	12,5	8,7	5,4	5,3
Липа	9,1	5,7	4,6	4,4

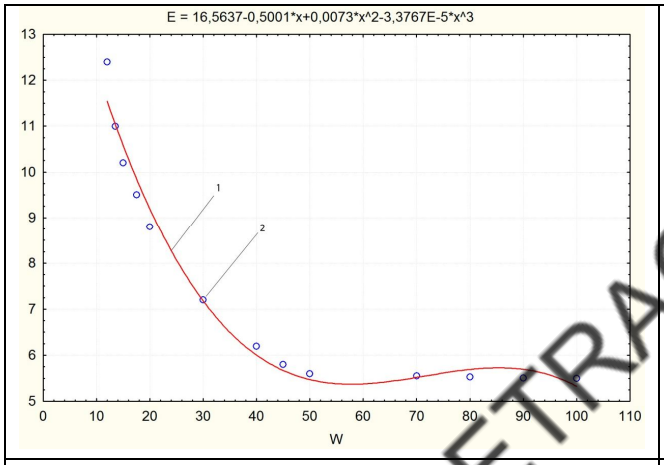

Рис. 2. Теоретическая кривая (1) и экспериментальные значения (2) на диаграмме рассеяния E – W

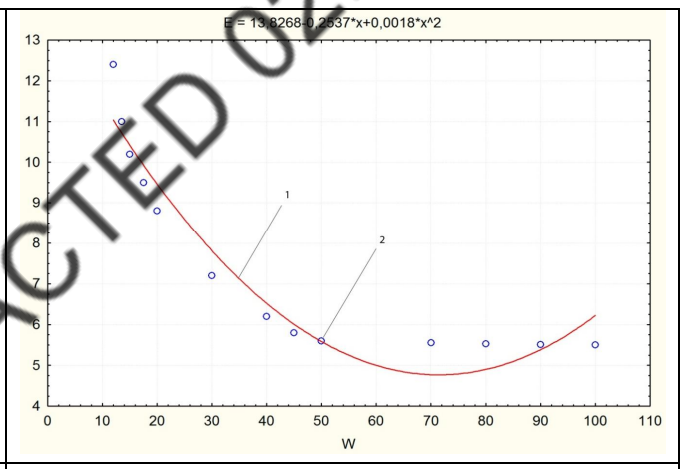

Рис. 3. Теоретическая кривая (1) и экспериментальные значения (2) на диаграмме рассеяния E – W

предыдущей (ошибка прогноза уменьшается). Значения коэффициентов множественной детерминации позволяют сделать вывод о высокой (более 90 %) детерминированности результативного признака *E* в модели с факторным признаком W.

Оценим статистическую надежность полученного уравнения множественной регрессии с помощью общего *F*-критерия, который проверяет нулевую гипотезу о статистической незначимости параметров построенного регрессионного уравнения и показателя тесноты связи (H_0: $a_0 = a_1 = a_2 = 0$ (a_0 – свободный член, a_1, a_2 – коэффициенты), $R = 0$ – коэффициент множественной детерминации).

Фактическое значение *F*-критерия Фишера – F_p (3, 9) = 163,74. Сравним его с табличным значением *F*-критерия, определяемым с использованием табл. 3 по заданным уровню значимости (α = 0,05) и числу степеней свободы (*d.f.1* = m = 3 и *d.f.2* = n – m – 1 = 13 – 3 – 1 = 9), F_m = 3,86. Поскольку $F_p > F_m$, то гипотеза H_0 отвергается. Так как вероят-

ОТОЗВАНА/RETRACTED 02.09.2019

ность случайного значения F_p значительно меньше 5 % ($p < 0,000001$), то с вероятностью более чем 95 % принимается альтернативная гипотеза.

Таким образом, признается статистическая значимость регрессионного уравнения, его параметра и показателя тесноты связи R.

Регрессионная модель одной из кривых графика зависимости $E–W$ позволяет определить любое значение модуля упругости E в интервале наших испытаний (степень полинома – третья).

Найденные коэффициенты регрессионной модели статистически значимы и надежны, что позволило считать эту конкретную древесину (образцы изготовлены из древесины, произрастающей на территории Воронежской области) действительно ортотропным телом и использовать полученные постоянные в обобщенном законе Р. Гука при определении толщины полимерной оболочки из древесного полимерцементного композиционного материала, призванной защищать ее от проникновения воды.

Библиографический список

1. Стородубцева, Т. Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал: Трещиностойкость под действием физических факторов [Текст] : монография / Т. Н. Стородубцева. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 216 с.

2. Стородубцева, Т. Н. Применение гидрофобизирующих и модифицирующих составов для пропитки древесного армирующего заполнителя [Текст] / Т. Н. Стородубцева, В. И. Харчевников, А. И. Томилин, К. В. Батурин // Лесотехнический журнал. – Воронеж, 2012. – № 2. – С. 36-46.

3. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов [Текст] / Е. К. Ашкенази. – М. : Лесн. пром-сть, 1978. – 224 с.

4. Харчевников, В. И. Упругие характеристики древесины сосны – армирующего заполнителя композиционных материалов на основе полимерного и цементного связующего [Текст] / В. И. Харчевников, Т. Н. Стородубцева // Изв. вузов. «Лесной журнал». – 2002. – № 6. – С. 52-59.

5. Лукьянова, Н. Ю. Статистика: Корреляционно-регрессионный анализ статистических связей на персональном компьютере [Текст] : метод. указан. к практ. занят. / Н. Ю. Лукьянова. – Калининград : Изд-во КГУ, 1999. – 35 с.

ОТОЗВАНА/RETRACTED 02.09.2019