

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# Лесной журнал

**Научный журнал**

Основан в 1833 г.  
Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.  
Выходит 6 раз в год

4/334

2013

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**  
Заместители главного редактора:  
д-р с.-х. наук, проф. **Н.А. Бабич**,  
д-р хим. наук, проф. **К.Г. Боголицын**  
Ответственный секретарь – засл. работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р биол. наук, проф. **В.П. Бессчетнов**; д-р техн. наук, проф. **П.В. Билей**; д-р техн. наук, проф. **А.В. Воронин**; д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**; д-р с.-х. наук, проф. **С.В. Залесов**; д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**; д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**; д-р биол. наук, проф. **И.Т. Кищенко**; д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Малыгин**; д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**; д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**; д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**; д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Онегин**; д-р техн. наук, проф. **Е.А. Памфилов**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**; д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАСХН **М.В. Рубцов**; д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**; д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**; д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**; д-р с.-х. наук, проф. **А.М. Тараканов**; д-р техн. наук, проф. **Б.Н. Уголев**; д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**; д-р с.-х. наук, проф. **В.Л. Черных**; д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**; проф. **Х.-Д. Энгельманн**

---

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4/334

Подписной индекс 70368

Редактор Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой  
Перевод С.В. Бирюковой  
Графическое оформление В.А. Титовой

---

Сдан в набор 06.05.2013. Подписан в печать 25.06.2013. Заказ № 1536  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,800.  
Уч.-изд. л. 8,262. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: 8 (818-2) 28-76-18,  
e-mail: forest@agtu.ru, forest@narfu.ru, [http:// www.lesnoizhurnal.ru](http://www.lesnoizhurnal.ru)

---

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-45647 от 05.07.2011.

Издательско-полиграфический центр им. В.Н. Булатова  
ФГАОУ ВПО САФУ  
163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Б.В. Раевский.* Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии..... 7
- С.В. Кириллов, Э.П. Лебедева, А.С. Яковлев, В.Г. Краснов.* Рост лесных культур дуба черешчатого, созданных разными формами желудей..... 16
- Т.Н. Новикова.* Изменчивость показателей развития кроны у потомств сибирских климатипов сосны обыкновенной..... 22
- М.Д. Евдокименко.* География и причины пожаров в Байкальских лесах..... 30

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Д.Г. Мясницев, А.С. Ваиуткин.* Результаты экспериментального исследования процесса подвода сжатого воздуха между фрикционными поверхностями тормозного механизма..... 40
- В.Н. Шиловский, В.А. Кяльвияйнен.* Оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин..... 47
- О.Н. Оруджова.* Влияние гибких геотекстильных прослоек на прочность дорожной конструкции..... 54

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- М.А. Хвиузов, А.Н. Галашев.* Расчет температуры нагрева поверхности пильного диска при осуществлении пирометрического контроля..... 60
- А.В. Турков, К.В. Марфин.* Исследование прогибов и частот собственных колебаний составных круглых тангенциальных пластин..... 66
- С.В. Ершов.* Определение границ размерных диапазонов распиливаемого сырья при эффективной эксплуатации лесопильного оборудования..... 72
- С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина.* Армированные деревянные конструкции..... 80

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- А.П. Карманов, Л.С. Кочева, В.Ю. Беляев, О.С. Бровко, Ю.С. Оводов.* Жизненная форма растений и особенности строения лигинов, выделенных из вторичной ксилемы *Betula papyrifera* и *Betula verrucosa*..... 86
- А.И. Дмитренко, О.Н. Филимонова, С.С. Никулин, Г.Ю. Вострикова.* Модификация нефтеполимерной смолы из фракции C<sub>9</sub> отходами бутадиевстирольного каучука и ее применение для защитной обработки ДВП..... 97
- В.П. Сиваков, И.А. Партин.* Критерии подобия модели деформации суспензии в питателе высокого давления..... 106
- Е.В. Новожилов, Д.Г. Чухчин, Е.В. Смирнов, Е.А. Варакин, И.В. Тышкунова.* Локализация и состояние компонентов крахмального связующего в гофрокартоне..... 111
- Е.Н. Коптелова, Н.А. Кутакова, С.И. Третьяков.* Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты..... 119

*ИСТОРИЯ НАУКИ*

- В.И. Желдак.* Российское лесоводство – из XX в. в XXI в. – развитие исторического наследия или смена парадигмы?..... 129

*ЮБИЛЕИ*

- А.С. Новоселов, В.С. Вернодубенко.* 40 лет Вологодской региональной лаборатории Северного НИИ лесного хозяйства..... 143
- 
-



CONTENTS

*FORESTRY*

<i>B.V. Raevsky.</i> Features of Vegetative Growth of Scots Pine Clones in Karelia.....	7
<i>S.V. Kirillov, E.P. Lebedeva, A.S. Yakovlev, V.G. Krasnov.</i> Growth of Oak Forest Cultures From Acorns Varying in Shape.....	16
<i>T.N. Novikova.</i> Feature Variability of Crown Development in Progenies of Siberian Scots Pine Climatypes.....	22
<i>M.D. Evdokimenko.</i> Forest Fire Causes and Distribution in the Baikal Region.....	30

*WOODEXPLOITATION*

<i>D.G. Myasishchev, A.S. Vashutkin.</i> Results of an Experimental Investigation of Compressed Air Supply between the Drum Brake Friction Surfaces.....	40
<i>V.N. Shilovsky, V. A. Kyalviyaynen.</i> Estimation of Maintenance Workability of Logging Machines.....	47
<i>O.N. Orudzhova.</i> Influence of Flexible Geotextile Layers on the Strength of Road Structure.....	54

*MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE*

<i>M.A. Khviyuzov, A.N. Galashev.</i> Calculation of Heat Temperature of the Saw Blade Surface under Pyrometric Control.....	60
<i>A.V. Turkov, K.V. Marfin.</i> Study of Deflection and Natural Vibration Frequencies of Composite Circular Transtropic Plates.....	66
<i>S.V. Ershov.</i> Determination of Size Ranges of Saw Logs under Efficient Operation of Sawmill Equipment.....	72
<i>S.I. Roshchina, M.S. Sergeev, A.V. Lukina.</i> Reinforced Wooden Structures.....	80

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

<i>A.P. Karmanov, L.S. Kocheva, V.Yu. Belyaev, O.S. Brovko, Yu.S. Ovodov.</i> Life Form of Plants and Structure of Lignins Isolated from the Secondary Xylem of <i>Betula nana</i> and <i>Betula verrucosa</i> .....	86
<i>A.I. Dmitrenkov, O.N. Filimonova, S.S. Nikulin, G.Yu. Vostrikova.</i> Modification of Petroleum Resin Based on C <sub>9</sub> Fraction by Styrene-Butadiene Rubber Waste and its use for Protective Treatment of Fiberboard.....	97
<i>V.P. Sivakov, I.A. Partin.</i> Similarity Criteria of Suspension Deformation Model in a High-Pressure Feeder.....	106
<i>E.V. Novozhilov, D. G. Chukhchin, E. V. Smirnov, E. A. Varakin, I. V. Tyshkunova.</i> Localization and Component Status of Starch Binder in Test Liner.....	111
<i>E.N. Koptelova, N.A. Kutakova, S.I. Tretyakov.</i> Study of Mass Transfer Kinetics During Birch Bark Extraction.....	119

*HISTORY OF SCIENCE*

- V.I. Zheldak.* Russian Silviculture from the 20th to the 21st Century: a Historical Legacy Evolution or a Paradigm Shift?..... 129

*JUBILEES*

- A.S. Novoselov, V.S. Vernodubenko.* 40th Anniversary of the Regional Vologda Laboratory of the Northern Research Institute of Forestry..... 143
- 
-



УДК.630\*165.44:582.475(470.22)

**Б.В. Раевский**

Институт леса Карельского НЦ РАН

Раевский Борис Владимирович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 70 печатных работ в области лесных культур, селекции, семеноводства и интродукции.

E-mail: raevski@drevlanka.ru



## ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО РОСТА КЛОНОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КАРЕЛИИ

Проанализированы базовые количественные характеристики и статистическое распределение в наборе материнских плюсовых деревьев сосны обыкновенной и их клонов в Карелии. Выявлено, что эмпирическое распределение вегетативных потомств плюсовых деревьев сосны на лесосеменной плантации по высоте, диаметру и ширине кроны близко к нормальному. Примерно 11 % из числа отобранных в природе плюсовых деревьев продемонстрировали выдающийся вегетативный рост как в насаждении, так и на лесосеменной плантации.

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, лесосеменные плантации.

На Петрозаводской лесосеменной плантации (ЛСП) в 2007 г. были продолжены начатые ранее на Олонецкой ЛСП [5, 6] детальные исследования вегетативного роста и репродуктивной деятельности клонов сосны обыкновенной и их семенного потомства. Чтобы исключить географическую составляющую и представить индивидуальную форму изменчивости в пределах одного поля, были отобраны 72 клон происхождения только из Южнокарельского лесосеменного района [4]. В конце вегетационного периода инструментально измерен ряд количественных признаков:

- общая высота растения, м (с помощью высоотомера с точностью до 0,25 м);
- диаметр ствола на высоте груди, см (с точностью до 1 мм);
- диаметр кроны вдоль и поперек ряда, м (с точностью до 5 см);
- диаметр у основания трех самых толстых, расположенных на высоте 1,5...2,0 м, веток, см (с точностью до 1 мм).

Таблица 1

## Показатели описательной статистики плюсовых деревьев

Показатель	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см
Число наблюдений $N$	838	838	838
Минимальное значение	45,0	18,0	20,0
Максимальное значение	170,0	36,0	53,0
Среднее $X$	85,0	26,2	30,8
Ошибка среднего $m_X$	0,63	0,11	0,15
Стандартное отклонение $\sigma$	18,59	3,35	4,49
Коэффициент вариации $CV$ , %	21,8	12,8	14,6
Ассиметрия $A$	0,75	0,23	0,77
Ошибка ассиметрии $m_A$	0,08	0,08	0,08
Оценка ассиметрии ( $T_A = A/m_A$ )	9,00	2,80	9,30
Доля, %:			
с величиной признака меньше среднего	51,6	53,5	52,2
с величиной признака больше среднего	48,4	46,5	47,8
Эксцесс $E$	1,02	-0,34	1,24
Ошибка эксцесса $m_E$	0,17	0,17	0,17
Оценка эксцесса ( $t_E = E/m_E$ )	6,2	-2,1	7,5
Критерий $\chi^2$	33,2	39,45	72,06
Число степеней свободы	2	7	4
Стандартные значения $\chi^2$ *	6,0–9,2–13,8	14,1–18,5–24,3	9,5–13,3–18,5
Критерий Колмогорова–Смирнова $\lambda$	2,19	1,95	1,99
Стандартные значения $\lambda$		1,36–1,63–1,95	

\* Здесь и далее, в табл. 2, 3, стандартные значения  $\chi^2$  зависят от числа степеней свободы и приведены для трех уровней значимости  $P = 0,5; 0,1; 0,001$ .

Для хранения, систематизации и обработки всей информации по исследуемым клонам и их материнским плюсовым деревьям (ПД) была создана база данных (СУБД Paradox) и исполняемый программный модуль для работы с ней. Кроме того, в среде Access создана база данных для всех ПД сосны Карелии. Статистический анализ осуществлялся с использованием общепринятых методов биометрии [3]. В настоящей работе приведены результаты анализа совокупности ПД Южнокарельского лесосеменного района, где в настоящее время локализовано 63,1% от всех числящихся в реестре ПД сосны (табл. 1).

В статистическом аспекте отбор плюсовых деревьев в древостое всегда проводят в правой части кривой нормального распределения всех деревьев элемента леса. Однако необходимо знать каково распределение самих ПД по основным таксационным показателям в пределах той гипотетической популяции, которая формируется в результате такого отбора. Особенностью совокупности ПД является то, что каждое из этих деревьев выбрано не случайно, а в соответствии с определенными требованиями к их отбору, при этом абсолютно независимо от других. Результаты анализа (табл. 1) свидетельствуют о том, что коэффициенты вариации диаметра и высоты снижены по сравнению с нормальными древостоями [2]. Для возраста и диаметра отмечены сильная левая положительная ассиметрия и заметный положительный эксцесс.

Для распределения по высоте характерны незначительные положительная асимметрия и отрицательный эксцесс. Рассчитанные значения критериев  $\chi^2$  и  $\lambda$  однозначно свидетельствуют о существенном отклонении всех эмпирических распределений от нормального. Как известно, в чистых одновозрастных насаждениях (или в пределах элемента леса) распределение деревьев по толщине характеризуется кривой нормального распределения, имеющей левостороннюю положительную асимметрию. Вейзе в конце XIX в. установил, что независимо от составляющей породы среднее по толщине дерево делит весь древостой на две неравные части, при этом число деревьев меньше средней толщины составляет 57,5 %, а больше средней толщины – 42,5 % от их общего количества [1]. Для совокупности плюсовых деревьев были получены близкие цифры.

В табл. 2 даны описательные статистики и оценки характера распределения материнских ПД исследуемых клонов сосны. В статистическом смысле для данной выборки все ПД Южнокарельского семенного района являются генеральной совокупностью. Как и следовало ожидать, выборочные средние оказались близки к значениям генеральных параметров. Однако в отличие от генеральной совокупности статистически достоверные левосторонняя асимметрия и положительный эксцесс отмечены только для диаметра. Значения критериев  $\chi^2$  и  $\lambda$  показывают, что полученное в выборке эмпирическое распределение практически не отклоняется от нормального. Статистически значимое отклонение по критерию  $\chi^2$  (по первому самому высокому для  $\chi^2$  порогу доверительной вероятности  $P = 0,05$ ) отмечено только для возраста.

Таблица 2

**Показатели описательной статистики материнских плюсовых деревьев  
исследуемых клонов Петрозаводской ЛСП**

Показатель	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см
Число наблюдений $N$	72	72	72
Минимальное значение	53,0	19,0	23,0
Максимальное значение	120,0	35,0	48,0
Среднее $X$	86,0	27,5	31,2
Ошибка среднего $m_X$	2,00	0,40	0,60
Стандартное отклонение $\sigma$	16,00	3,10	5,00
Коэффициент вариации $CV$ , %	18,4	11,2	16,0
Асимметрия $A$	0,55	-0,33	1,20
Ошибка асимметрии $m_A$	0,28	0,28	0,28
Оценка асимметрии ( $T_A = A/m_A$ )	1,98	-1,19	4,31
Эксцесс $E$	-0,42	0,55	2,12
Ошибка эксцесса $m_E$	0,55	0,55	0,55
Оценка эксцесса ( $t_E = E/m_E$ )	-0,76	0,99	3,86
Критерий $\chi^2$	9,16	4,79	2,50
Число степеней свободы	2	3	3
Стандартные значения $\chi^2$	6,0–9,2–13,8	7,8–11,3–16,3	7,8–11,3–16,3
Критерий Колмогорова–Смирнова $\lambda$	1,19	0,52	0,59
Стандартные значения $\lambda$		1,36–1,63–1,95	

Тем не менее, главный вопрос – какова доля генотипических особенностей особи в формировании этого выдающегося фенотипа – на данном этапе остается без ответа, поскольку в процессе отбора ПД оперируют исключительно лесоводственными понятиями и закономерностями нормального распределения основных таксационных параметров.

В отличие от своих материнских деревьев, которые находятся в естественной природной среде (*in situ*) и представлены в единственном экземпляре, исследуемые клоны сосны произрастают на лесосеменной плантации (*ex situ*) в многочисленных повторностях (раметах). Выравненное влияние всего комплекса основных экологических факторов (почвенное питание, увлажнение и освещение), а также наличие повторностей, т. е. схема организации опыта, позволяют считать, что различия между клонами по всему комплексу габитуальных признаков главным образом обусловлены генетическими причинами. Более точные статистические оценки вклада генотипа в различия между клонами по любым количественным признакам получаются с помощью биометрических методов, в частности дисперсионного анализа.

В табл. 3 приведены результаты статистического анализа набора клонов Петрозаводской ЛСП и ранее полученные данные для клонов практически того же возраста Олонецкой ЛСП [4]. Следует отметить, что в нашем случае каждый клон был представлен 5 ракетами (прививками) в возрасте 24 лет. Размещение растений регулярное с расстояниями между рядами 8 м и в ряду 5 м.

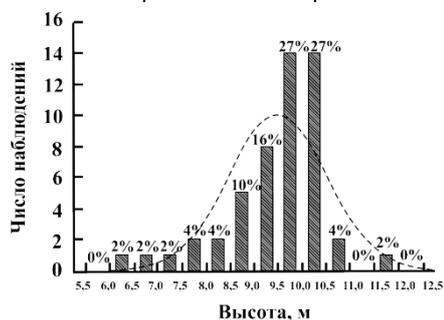
Таблица 3

**Показатели описательной статистики исследуемых клонов сосны обыкновенной**

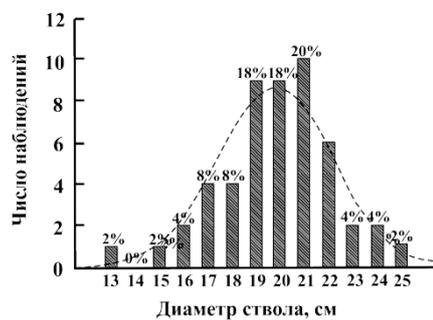
Показатель	Высота, м	Диаметр ствола, см	Диаметр кроны, м
Петрозаводская ЛСП (участок № 7, возраст – 24 года, число наблюдений – 72)			
Минимальное значение	6,7	15,2	3,9
Максимальное значение	11,7	25,70	6,9
Среднее $\bar{X}$	9,6	20,4	5,4
Ошибка среднего $m_x$	0,10	0,26	0,08
Стандартное отклонение $\sigma$	0,85	2,21	0,66
Коэффициент вариации $CV, \%$	8,9	10,9	12,2
Ассиметрия $A$	-0,94	-0,16	-0,19
Ошибка ассиметрии $m_A$	0,28	0,28	0,28
Оценка ассиметрии ( $T_A = A/m_A$ )	-3,3	-0,6	-0,7
Эксцесс $E$	1,62	0,13	-0,05
Ошибка эксцесса $m_E$	0,56	0,56	0,56
Оценка эксцесса ( $t_E = E/m_E$ )	2,9	0,2	-0,1
Критерий $\chi^2$	5,90	1,42	1,51
Число степеней свободы	1	1	1
Стандартные значения $\chi^2$		3,8–6,6–10,8	
Критерий Колмогорова–Смирнова $\lambda$	0,83	0,27	0,34
Стандартные значения $\lambda$		1,36–1,63–1,95	
$\bar{X} + \sigma$	10,4	22,6	6,04
$\bar{X} + 0,5\sigma$	10,0	21,5	5,7

Окончание табл. 3

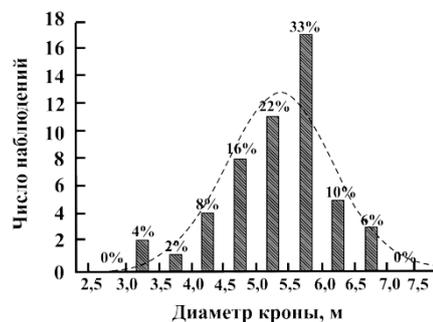
Показатель	Высота, м	Диаметр ствола, см	Диаметр кроны, м
Олонецкая ЛСП (участок № 1, возраст – 24 года)			
Среднее с ошибкой ( $X \pm m_X$ )	9,5 ± 0,1	20,0 ± 0,4	5,5 ± 0,2
Коэффициент вариации CV, %	8,1	12,7	12,5
Олонецкая ЛСП (участок № 3, возраст – 25 лет)			
Среднее с ошибкой ( $X \pm m_X$ )	9,7 ± 0,4	19,8 ± 0,4	5,6 ± 0,2
Коэффициент вариации CV, %	6,0	10,9	14,1



а



б



в

Распределение клонов сосны по высоте (а), диаметру ствола (б) и ширине (в)

Как следует из данных табл. 3 и рисунка, существенные правосторонняя отрицательная асимметрия и положительный эксцесс присутствуют только в распределении по высоте. Эмпирическое распределение клонов по высоте, диаметру и ширине кроны практически не отличается от нормального. Статистически значимое отличие по критерию  $\chi^2$  (первый порог доверительной вероятности  $P = 0,05$ ) отмечено только по высоте. Наборы клонов на участках Олонецкой ЛСП происходят из Южнокарельского семенного района. В одинаковом возрасте различные клоновые наборы трех участков, созданных в разное время и в неидентичных почвенно-грунтовых условиях, имеют практически одинаковые усредненные значения высоты, диаметра ствола и ширины кроны, а также показатели их статистического разнообразия.

Дисперсионный анализ широко применяется в лесной селекции как метод расчета коэффициента наследуемости в широком смысле ( $H^2$ ). В табл. 4 приведены результаты такого анализа клонов сосны по основным ростовым показателям. Анализировались 72 клон в возрасте 24 лет (Петрозаводская ЛСП, участок № 7), 15 клонов в возрасте 27 лет (Олонецкая ЛСП, участок №1), 10 клонов в возрасте 25 лет (Олонецкая ЛСП, участок №3). Для участков № 7 и № 3 доли влияния генетического фактора на различия по высоте, диаметру ствола, диаметру кроны и диаметру ветвей оказались близкими. Поскольку коэффициент  $H^2$  в нашем случае определялся статистическим методом, то его значение зависело от статистического разнообразия вариантов, входящих в состав дисперсионного комплекса.

Таблица 4

**Показатели влияния индивидуальных особенностей клонов (%)  
в однофакторном дисперсионном комплексе**

ЛСП	Высота	Диаметр		
		ствола	кроны	ветвей
Петрозаводская (участок № 7)	46,0	36,0	48,8	39,8
Олонецкая:				
участок № 1	68,2	84,4	69,7	42,1
участок № 3	31,5	39,5	54,3	54,0

На участке № 1, возможно, случайным образом подобрались клоновые потомства, особенно сильно различавшиеся по габитуальным показателям. На основании полученных данных можно заключить, что параметры вегетативного роста сосны в значительной степени контролируются генотипом.

В пределах изучаемой совокупности клонов Петрозаводской ЛСП был произведен простой независимый отбор среди материнских ПД и их клонов по высоте и диаметру, исходя из стандарта ( $\geq \bar{X} + 0,5\sigma_x$ ). Поскольку материнские ПД имели различный возраст, для них были рассчитаны средние приросты по высоте и диаметру путем деления абсолютных значений соответствующих признаков на календарный возраст. Совместный отбор велся по следующему принципу: соответствие стандарту хотя бы одного признака

у плюсового дерева и его клона одновременно (табл. 5, выделено жирным шрифтом). Из 72 плюсовых деревьев только 2 (2,8 %) отличались полным соответствием успешности роста как в насаждении, так и на плантации. Следовательно, и в том и в другом случае оба признака удовлетворяют стандарту. В остальных случаях хотя бы один параметр не соответствовал стандарту. Всего 8 ПД (11%) продемонстрировали выдающийся вегетативный рост как в насаждении, так и на лесосеменной плантации.

Таблица 5

Результаты отбора\* лучших по росту ПД и их клонов

Номер ПД	Плюсовые деревья		Клоны	
	Диаметр, см	Высота, м	Диаметр, см	Высота, м
<b>50</b>	<b>0,45</b>	<b>0,38</b>	<b>24,7</b>	<b>10,5</b>
<b>59</b>	<b>0,45</b>	<b>0,35</b>	21,3	<b>10,3</b>
<b>63</b>	<b>0,41</b>	<b>0,35</b>	20,9	<b>10,6</b>
<b>156</b>	<b>0,42</b>	0,29	<b>22,6</b>	<b>10,4</b>
516	0,36	<b>0,39</b>	21,1	<b>10,4</b>
<b>522</b>	<b>0,46</b>	<b>0,44</b>	<b>23,6</b>	<b>10,1</b>
573	0,39	<b>0,36</b>	18,7	<b>10,0</b>
876	0,37	<b>0,36</b>	20,6	<b>10,2</b>

\* По средним приростам показателей у ПД, по средним показателям у клонов.

Полученные результаты позволяют заключить, что указанные деревья, по всей видимости, действительно являются носителями так называемых генов быстрого роста. Поскольку сравнение велось по отношению к другим ПД, то такие экземпляры можно было бы условно назвать суперплюсовыми (или лучшими) ПД еще до того, как они будут оценены по множеству других важных признаков и качеств, в частности, относящихся к семеношению. Необходимо отметить, что в целом ни один из параметров, характеризующий продуктивность древостоя, где проводился отбор ПД (средние диаметр и высота, бонитет, запас), и ни один из параметров материнских ПД не имели статистически значимой корреляции с ростовыми характеристиками своих клонов.

Проведенные исследования позволили выявить следующие закономерности.

Распределение всей совокупности ПД Южнокарельского лесосеменного района по высоте и диаметру существенно отклонялось от теоретических частот нормального распределения.

Для материнских ПД изучаемого набора клонов сосны Петрозаводской ЛСП полученное эмпирическое распределение по высоте и диаметру ствола практически не отклонялось от нормального. Статистически значимое откло-

нение по критерию  $\chi^2$  (по первому самому высокому для  $\chi^2$  порогу доверительной вероятности  $P = 0,05$ ) имело место только для возраста.

Эмпирическое распределение самих клонов по высоте, диаметру и ширине кроны было близко к нормальному. Статистически значимое отличие по критерию  $\chi^2$  (первый порог доверительной вероятности  $P = 0,05$ ) получено только по высоте.

Таким образом, с одной стороны, полученные данные позволяют использовать при планировании селекционных мероприятий все известные закономерности нормального распределения, с другой – выявленная картина свидетельствует о том, что из совокупности ПД, отобранных исключительно по фенотипу, существенная доля обладает выдающимися показателями роста в связи с удачным стечением жизненных обстоятельств, а не в силу генетических особенностей.

Особенности вегетативного роста клонов сосны в значительной мере контролируются генотипом, что делает эффективным клоновый отбор на прививочных плантациях по таким прямым признакам, как высота, диаметр ствола и ширина кроны.

В Карелии все ЛСП сосны расположены в пределах Южнокарельского лесосеменного района. Любые участки ЛСП сосны, в состав которых входят клоны происхождением из этого же района, в одинаковом возрасте имеют очень близкие средние значения габитуальных признаков (высота, диаметр ствола, диаметр кроны). Данная особенность представляется крайне важной с точки зрения оценки семенной продуктивности участка ЛСП, так как по абсолютной величине урожай шишек и семян зависит от размера деревьев.

Примерно 11 % из числа отобранных в природе плюсовых деревьев действительно обладали генами быстрого роста, так как демонстрировали выдающийся вегетативный рост как в насаждении, так и на лесосеменной плантации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 551 с.
2. *Зябченко С.С.* Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1984. 248 с.
3. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1973. 343 с.
4. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М., 1982. 368 с.
5. *Раевский Б.В., Мордась А.А., Ильинов А.А.* Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей сеянцев сосны и ели // Лесн. журн. 2007. № 6. С. 25–31. (Изв. высш учебн. заведений).
6. *Раевский Б.В., Мордась А.А.* Селекционно-генетическая оценка клонов сосны быкновенной на лесосеменных плантациях первого порядка. Петрозаводск, 2006. 90 с.

Поступила 14.02.11

*B.V. Raevsky*

Forest Research Institute KRC RAS

**Features of Vegetative Growth of Scots Pine Clones in Karelia**

Statistical distribution patterns of some basic qualitative characteristics of Scots pine plus trees and their clone progenies in Karelia were investigated. It was found that empirical distribution of the clones in terms of height, stem diameter and crown width was close to the norm. Around 11% of plus trees selected *in situ* showed an outstanding vegetative growth both in the stand and in the seed orchard.

*Keywords:* Scots pine, plus trees, clone progenies, seed orchards.

---

УДК 630\*232.31:674.031.11

**С.В. Кириллов, Э.П. Лебедева, А.С. Яковлев, В.Г. Краснов**

Поволжский государственный технологический университет

Кириллов Сергей Владимирович родился в 1962 г., окончил в 1985 г. Марийский политехнический институт им. М. Горького, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 20 печатных работ в области технологий создания и выращивания географических культур дуба черешчатого.

E-mail: KirillovSV@marstu.net



Лебедева Эмилия Петровна окончила в 1959 г. Поволжский лесотехнический институт им. М. Горького, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 150 печатных работ в области селекционного семеноводства древесных пород.

E-mail: LebedevaEP@marstu.net



Яковлев Александр Степанович родился в 1937 г., окончил Поволжский лесотехнический институт им. М. Горького, доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный деятель науки республики Марий Эл, академик ИТА Чувашской республики, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 190 научных трудов в области исследования состояния искусственных лесных насаждений и защитного лесоразведения, особенно дубрав Среднего Поволжья.

E-mail: YakovlevAS@marstu.net



Краснов Виталий Геннадьевич родился в 1976 г., окончил в 1999 г. Марийский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 20 научных трудов в области изучения санитарного состояния и методов искусственного восстановления дубрав в Среднем Поволжье.

E-mail: KrasnovVG@marstu.net



## **РОСТ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО, СОЗДАНЫХ РАЗНЫМИ ФОРМАМИ ЖЕЛУДЕЙ**

Рассмотрено влияние формы желудей на рост и состояние опытных культур в учебно-опытном лесхозе ПовГТУ республики Марий Эл; отмечен лучший рост у деревьев дуба, выросших из крупноплодных форм желудей.

*Ключевые слова:* дуб черешчатый, формы желудей, формовое разнообразие, лесные культуры.

© Кириллов С.В., Лебедева Э.П., Яковлев А.С., Краснов В.Г., 2013

Деградация и массовое усыхание дубрав в большей или меньшей степени отмечены во многих европейских странах. Причины этого явления исследователями объясняются по-разному. Преобладающая гипотеза – синергетическое действие вредных абиотических и биотических факторов: глобальные изменения климата; загрязнение окружающей среды; вредные насекомые и заболевания [3].

Искусственное лесовосстановление дубрав – выход из данной ситуации. При выращивании устойчивых лесных культур особое место отводится подбору посадочного материала, отличающегося формовым разнообразием.

Дуб черешчатый имеет многочисленные формовые разнообразия: форма ствола и кроны, форма коры, размер и форма листа (отличающиеся по длине и ширине), размеры и морфологические особенности желудей, сроки начала пожелтения листьев и начала листопада, а также быстроты их опада [1].

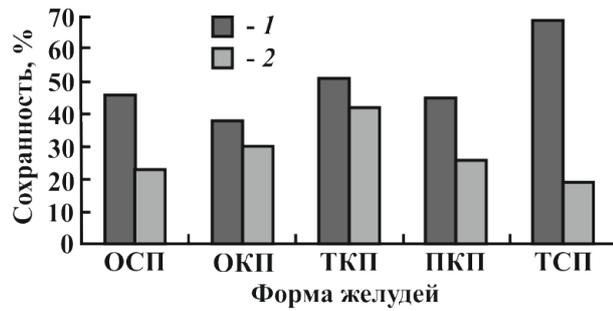
Наши исследования были посвящены изучению влияния формы желудей на рост лесных культур дуба, выращенных из этих желудей. Для этого были созданы опытные участки в Нолькинском лесничестве учебно-опытного лесхоза МарГТУ (выдел 32, квартал 68). Культуры дуба черешчатого были заложены 17 мая 1982 г. студентами лесохозяйственного факультета под руководством проф. А.С. Яковлева. Высаживали 2-летние сеянцы, выращенные в питомнике лесничества с учетом морфологических форм желудей. Посев разных форм желудей проведен 11 мая 1980 г., использовали желуди, собранные А.С. Лачугиным в Ломоносовском лесхозе Ленинградской области с 67 модельных деревьев, которые подобраны с учетом морфологических форм желудей (круглоплодные, продолговатые, типичные формы с учетом их крупности). Участок ровный, тип лесорастительных условий – С<sub>2</sub>, Д<sub>2</sub>. Приняты следующие размещения: расстояние между рядами 1,5 м, в ряду – 0,5 м.

Изучение лесных культур в 19-летнем возрасте проводили в августе 2000 г. Сохранность составила: округлосреднеплодных (ОСП) – 46 %, округлокрупноплодных (ОКП) – 37 %, типичнокрупноплодных (ТКП) – 51 %, продолговатокрупноплодных (ПКП) – 45 %, типичносреднеплодных (ТСП) – 69 % [2].

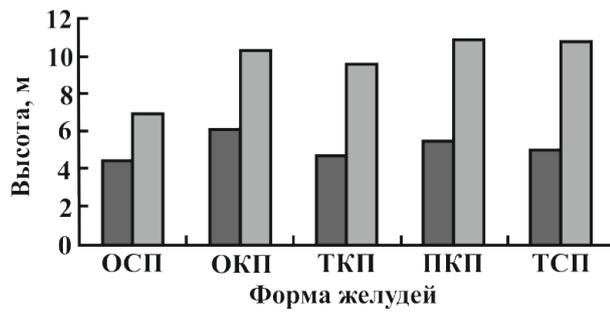
Данные 2000 г. показывают, что максимальную сохранность имели растения дуба черешчатого, выращенные как из крупноплодных форм желудей (ТКП), так и среднеплодных (ТСП, ОСП), минимальную – из округлокрупноплодных желудей (ОКП).

Проведенные в 2010 г. исследования показали, что лучшую сохранность имели экземпляры дуба черешчатого, выращенные из типичносреднеплодных форм желудей. Почти на том же уровне осталась сохранность у округлокрупноплодных, но в 2 раза и более уменьшилась численность растений у продолговатокрупноплодных, округло- и типичносреднеплодных форм.

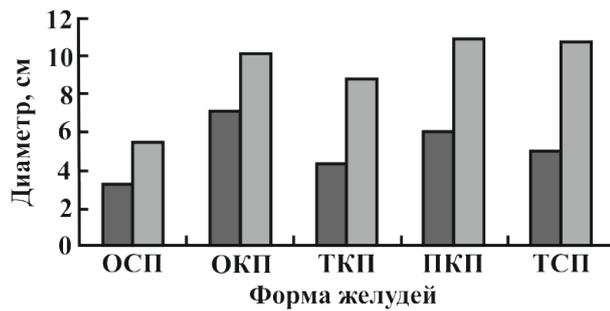
Сравнение сохранности культур дуба по годам приведено на рисунке *а*, по высоте и диаметру – на рисунках *б* и *в*.



*а*



*б*



*в*

Показатели роста культур дуба, созданных разными формами желудей: *а* – сохранность, *б* – высота, *в* – диаметр; 1 – 2000 г., 2 – 2010 г.

Показатели роста культур дуба черешчатого, созданного разными формами желудей в 2000 г., приведены в табл. 1

Таблица 1

**Среднестатистические показатели роста 19-летних культур дуба  
в зависимости от формы желудей**

Форма желудей	Средне- арифме- тическое	Ошибка среднего	Средне- квадрати- ческое отклонение	Изменчи- вость	Точность опыта	Досто- верность различия от max
				%		
ОСП	4,41/3,37	0,44/0,28	1,59/0,78	36,13/23,21	10,02/8,20	3,3/7,9
ОКП	6,07/7,17	0,24/0,39	1,97/3,01	32,51/41,94	4,03/5,41	–
ТКП	4,62/4,34	0,13/0,18	1,39/1,94	30,10/45,03	2,82/4,23	5,4/6,7
ПКП	5,37/6,07	0,24/0,35	1,73/2,58	32,16/42,54	4,41/5,84	2,1/2,1
ТСП	4,94/5,02	0,31/0,43	1,45/2,07	29,45/4,30	6,28/8,61	2,9/3,8

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, в числителе – высота (в метрах), в знаменателе – диаметр (в сантиметрах).

Из полученных данных видно, что лучшие показатели роста имеют деревья дуба, созданные из ОКП желудей, несколько меньше показатели у деревьев, выращенных из ПКП желудей, растения из ОСП и ТКП желудей имеют минимальные показатели по высоте. О достоверно худших показателях по высоте этих форм свидетельствует достоверность различия *td*. Суждение о преимуществе культур дуба, созданных из ОКП желудей, подтверждают данные рисунка 6.

Повторные исследования данного объекта были проведены летом 2010 г. (табл. 2).

Таблица 2

**Среднестатистические показатели роста 29-летних культур дуба  
в зависимости от формы желудей**

Форма желудей	Средне- арифме- тическое	Ошибка среднего	Средне- квадрати- ческое отклонение	Изменчи- вость	Точность опыта	Досто- верность разли- чия от max
				%		
ОСП	6,91/5,50	–	–	–	–	–
ОКП	10,29/10,14	0,44/0,74	2,33/3,93	22,69/38,78	4,28/7,33	–
ТКП	9,52/8,79	0,43/0,50	3,01/3,54	31,67/40,26	4,52/5,75	1,3/1,5
ПКП	10,83/10,88	0,43/0,62	2,4/3,41	22,22/31,38	4,05/5,73	0,8/0,8
ТСП	10,72/10,77	–	–	–	–	–

Примечание. Для деревьев, созданных из ОСП и ТСП желудей, приведены только среднеарифметические значения; статистические показатели отсутствуют в связи с малым количеством экземпляров.

У 29-летних культур дуба высота в зависимости от формы высеянных желудей варьирует от 6,9 до 10,8 м. Достоверно худшие показатели сохранились у дубов, выращенных из желудей ОСП. У остальных потомств, хотя и есть некоторые отличия как по высоте, так и по диаметру, но они недостоверны ( $td < 3$ ). Ранги по высоте и диаметру несколько изменились у разных потомств, но несущественно. Ранговый коэффициент Спирмена ( $^2S = 0,7$ ) также свидетельствует о некотором изменении рангов потомств по высоте и диаметру. Сохранили ранги потомства ОСП и ТКП, имеющие худшие показатели высоты. Потомства ОКП, ПКП и ТСП, достоверно не отличающиеся по высоте в 29-летнем возрасте, сохранили высокие показатели роста, но с некоторыми изменениями, недостоверно отличающимися между собой. Существенно улучшился рост потомств ТКП, их высота и диаметр оказался ниже ОКП, но это различие недостоверно, т.е. по существу это потомство по показателям роста уже близко к лучшим.

Показатели роста культур дуба по Крафту (данные 2010 г.) приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Среднестатистический класс Крафта у 29-летних культур дуба  
в зависимости от формы желудей**

Форма желудей	Среднеариф- метическое	Ошибка среднего	Среднеквад- ратическое отклонение	Изменчи- вость	Точность опыта
				%	
ОСП	4,00	0,57	1,00	25,00	14,4
ОКП	2,67	0,12	0,94	35,27	6,66
ТКП	2,91	0,15	1,07	36,90	5,27
ПКП	2,50	0,14	0,82	32,80	5,98
ТСП	2,66	0,33	0,57	21,65	12,50

Классификация деревьев по Крафту показала, что в культурах дуба преобладают деревья II и III классов по росту. Исключением являются культуры дуба, созданные из ОСП желудей, где преобладали отставшие в росте деревья.

Статистическая обработка данных выявила слабую связь между формой желудей и высотой деревьев дуба на пробной площади, так как коэффициент корреляции Пирсона  $r = 0,15$ . Все формы крупноплодных желудей имеют лучшие показатели роста по сравнению со среднеплодными.

Обобщая полученные данные, нужно отметить, что при создании лесных культур дуба черешчатого необходимо отдавать предпочтение крупноплодным формам желудей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов М.Д. Формовое разнообразие дуба черешчатого в условиях северо-восточной части его ареала и вопросы организации лесосеменного дела. Йошкар-Ола, 1969. 122 с.

2. Кириллов С.В., Яковлев А.С. Оценка роста и формирования лесных культур дуба черешчатого, созданных с учетом морфологических форм желудей // Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения д-ра биол. наук проф. И.С. Аверкиева. Йошкар-Ола, 2001. С. 6–7.

3. Яковлев А.С., Яковлев И.А. Дубравы Среднего Поволжья. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 1999. 352 с.

Поступила 25.01.11

*S.V. Kirillov, E.P. Lebedeva, A.S. Yakovlev, V.G. Krasnov*

Volga State University of Technology

### **Growth of Oak Forest Cultures From Acorns Varying in Shape**

The article points out the influence of acorn shape on the growth and condition of test crops in the training and experimental forestry of the Volga State University of Technology, Republic of Mari El. The data obtained indicate a better growth among oak trees grown from large-fruited acorns.

*Keywords:* English oak, acorn shape, form diversity, forest cultures.

---

УДК 630\*531

**Т.Н. Новикова**

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Красноярск)

Новикова Татьяна Николаевна окончила в 1975 г. Сибирский технологический институт, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесной генетики и селекции Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет более 50 печатных работ в области лесной селекции и семеноводства.  
E-mail: liit@list.ru



### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ КРОНЫ У ПОТОМСТВ СИБИРСКИХ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ\***

Представлены результаты изучения параметров кроны у деревьев климатипов сосны в географических культурах, созданных в лесостепной зоне Западного Забайкалья. Выявлены корреляционные связи показателей протяженности кроны с климатическими факторами мест произрастания исходных насаждений.

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, географические культуры, климатипы, изменчивость, крона.

Показатели развития кроны деревьев имеют большое значение в практике лесного хозяйства, селекции и семеноводства. Ширококронные деревья, способные обеспечить хороший урожай шишек или высокую продуктивность пыльцы (деревья опылители), наиболее перспективны в лесоводственной и селекционной практике. Узкокронные деревья пригодны для создания семейственных и клоновых плантаций при дефиците лесокультурных площадей в благоприятных почвенно-климатических условиях. При этом и ширококронные, и узкокронные деревья могут характеризоваться хорошими показателями роста.

Морфометрические показатели, характеризующие габитус кроны, используются в таксономических построениях. Например, узкокронность является одной из характеристик представителей подвида сосна северная лапландская (*Pinus sylvestris* L. subsp. *lapponica* Fries), произрастающих у северных границ ареала вида в Евразии. В популяциях сосны подвида сосна обыкновенная сибирская (*Pinus sylvestris* L. subsp. *sibirica* Ledebour) встречаются как

---

\* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 11-04-00033 и № 11-04-922-Монг\_а.

узко- так и ширококронные формы. У сосны кулундинской (*Pinus sylvestris* L. subsp. *kulundensis* Sukaczew) крона также изменяется от широкой до узкой, редко пирамидальная. На старых деревьях, особенно в одиночном и редком стоянии, крона сохраняется до основания ствола в глубокой старости [6]. На территории Сибири произрастают 3 подвида: сосна северная, или лапландская; сосна обыкновенная; сосна кулундинская, или степная. Насаждения этих подвигов неоднородны в связи с обширностью занимаемых территорий и разнообразием условий произрастания.

Удобным объектом для изучения внутривидовой дифференциации сосны являются разновозрастные географические культуры. Это экспериментальные лесосеменные объекты, которые создаются в однородных условиях посадкой семенного материала, полученного из популяций разного эколого-географического происхождения.

Географические культуры в Западном Забайкалье заложены в 1979 г. и являются частью эксперимента по изучению изменчивости признаков и свойств сосны обыкновенной, устойчивости и росту ее потомств в конкретных условиях. Географическое положение и климатические условия района исследований: координаты – 51°50' с.ш., 107°40' в.д.; период вегетации – 149 дн.; осадки за год – 246 мм; континентальность – 90 %.

Территория относится к Забайкальскому горно-лесостепному району [5], климат в районе эксперимента засушливый, резко континентальный. Культуры были созданы на площади, представляющей старую гарь. Посадку производили под лопату в частично подготовленную (плужными бороздами) почву. Расстояние между рядами – 2,5 м, в ряду – 1,0 м. Методика закладки и основные результаты изучения географических культур подробно изложены в предыдущих работах [3, 4].

В географических культурах 32-летнего возраста, наряду с показателями роста и выживаемости, изучались признаки развития крон деревьев в потомствах сосны из географически удаленных, контрастных по климатическим условиям районов ее ареала в Сибири. Диаметр и протяженность кроны по стволу деревьев исследовались у потомств 12 климатипов в основном из Средней и частично из Восточной Сибири. От каждого климатипа, за исключением Туруханского, было исследовано по 30 особей.

Выживаемость потомств климатипов сосны варьирует от 28 до 57 %. Наиболее устойчивы удаленные к северу богучанский и нижеенисейский климатипы, выживаемость которых составила 56...57 %. Слабой устойчивостью характеризуется сосна из Туруханска (подвид северная лапландская), произрастающая у северной границы ареала (выживаемость 28 %). Остальные климатипы имеют удовлетворительную выживаемость – 32...51 %. Число измерений кроны пропорционально числу деревьев, представляющих каждый класс роста. Для эксперимента выбирали участки рядов с близкой сохранностью и расстоянием между деревьями в ряду около 1,0 м, при этом крайние

деревья исключали. Крону каждого дерева измеряли в двух направлениях: с севера на юг (в ряду) и с запада на восток (между рядами). Такая методика выявила незначительное снижение средних показателей диаметра кроны в направлении с севера на юг у деревьев туруханского (1,89...1,94 м), североенисейского (2,20...2,30 м) и минусинского (2,60 и 2,63 м) климатипов. Изложенную методику определения среднего диаметра кроны применяли для исследования всех изученных климатипов. Протяженность кроны по стволу определяли в метрах и в долях от длины ствола (табл. 1, 2).

Для анализа все климатипы были разделены на три группы. Первая группа (58°39'... 66°00' с.ш.) – богучанский, ниже- и североенисейский, туруханский климатипы представляют сосну из районов с низкой теплообеспеченностью и избыточным увлажнением, в разной степени удаленных в северном направлении. К этой группе отнесены следующие подвиды: сосна сибирская и сосна северная, или лапландская, – туруханский климатип.

Вторая группа (52°40'...56°17' с.ш.) – канский, ачинский, ермаковский, абазинский климатипы представляют сосну сибирскую из мест произрастания с близкими к оптимальным показателями тепло- и влагообеспеченности (центральные и южные районы Средней Сибири).

Третья группа (51°00'...53°45') представляет сосну из засушливых районов юга Сибири (балгазынский, минусинский, заудинский, кяхтинский климатипы). К этой группе отнесены следующие подвиды: сосна кулундинская и сосна сибирская.

Климатические параметры мест происхождения материнских насаждений значительно различаются в связи с большой географической амплитудой от 51 до 66° с.ш.

Известно, что в раннем возрасте развитие вегетативных органов связано с энергией роста деревьев, например, число ветвей в мутовке положительно коррелирует с высотой и диаметром стволов деревьев [3]. В географических культурах сосны этот признак обнаруживает корреляционную связь с климатическими параметрами мест происхождения климатипов [3].

Особый интерес представляют и другие параметры развития кроны: диаметр кроны и ее протяженность по стволу дерева. Протяженность кроны находится в тесной корреляции с протяженностью бессучковой зоны, которая в природных насаждениях характеризуется значительной индивидуальной изменчивостью. Варьирование протяженности бессучковой зоны в забайкальских и верхнеобских борах достигает 40 % и является основным лимитирующим фактором при отборе плюсовых деревьев [7].

Преимущественно по этой причине частота встречаемости плюсовых деревьев в лучших насаждениях нередко составляет сотые доли процента [8].

Таким образом, изучаемые признаки – диаметр кроны и протяженность ее по стволу – характеризуются изменчивостью и имеют большое значение в селекции. Эти показатели обнаруживают неоднозначную связь с энергией роста.

Таблица 1

№ п/п	Климатип	Координаты		Диаметр дерева на высоте груди, см	Высота, м	Диаметр кроны, м	Выживаемость, %	Число деревьев, % с диаметром кроны, м			
		с.ш.	в.д.					1,0...2,2	2,3...3,5	3,6...4,8	
1	Туруханский	66°00'	89°00'	7,2	4,9	Северная, средняя и южная тайга	28	75,0	25,0	0	
2	Ботучанский	58°39'	97°30'	9,9	6,2		57	92,6	7,4	0	
3	Североенисейский	60°25'	93°00'	8,2	5,1		43	53,8	42,4	3,8	
4	Нижнеенисейский	60°21'	87°49'	9,2	7,4		56	67,7	32,3	0	
5	Ермаковский	53°00'	94°00'	11,1	7,2	Южная тайга и лесостепная зона	42	44,0	52,0	4,0	
6	Канский	56°12'	95°41'	11,4	7,4		32	36,0	52,0	12,0	
7	Абазинский	52°40'	90°00'	10,7	7,0		43	47,8	47,8	4,4	
8	Ачинский	56°17'	90°30'	10,2	6,3		51	84,6	15,4	0	
9	Завдинский	51°50'	110°00'	11,6	7,2	Лесостепная и степная зоны	53	57,7	42,3	0	
10	Кяхтинский	50°27'	106°15'	11,9	7,0		51	52,0	48,0	0	
11	Минусинский	53°45'	91°45'	10,6	7,6		48	38,5	50,0	11,5	
12	Балгазынский	51°00'	95°12'	10,9	7,8		54	36,0	44,0	20,0	

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, климатипы с 1 по 8 и 11 пропрграстают в Красноярском регионе, 9 и 10 – в Республике Бурятия, 12 – в Республике Тыва.

Например, в Забайкалье ширококронная форма сосны является наиболее быстрорастущей [2]. Имеются материалы о том, что в некоторых других регионах деревья узкокронной формы характеризуются высокой скоростью роста и производительностью [1, 6]. Очевидно, деревья таких форм проявляют определенные требования к орографическим, эдафическим и климатическим условиям. Особый интерес представляет изменчивость признаков развития кроны в связи с климатическими условиями произрастания материнских насаждений.

*Диаметр кроны.* Материнские насаждения изучаемых потомств представлены в основном III классом бонитета. Исключением являлись туруханский и балгазынский климатипы (V класс бонитета), а также североенисейский и местный заудинский климатипы (IV класс бонитета).

Структура климатипов по диаметру кроны приведена в табл. 1. В ходе анализа полученных данных выявлено, что группе климатипов, удаленных к северу, средний диаметр кроны составил 1,95 (1,7...2,2) м, в группе климатипов из центральных и южных районов – соответственно 2,38 (1,8...2,7) м и 2,45 (2,1...2,8) м.

Обнаружена тесная положительная корреляционная связь между высотой и диаметром кроны в группах климатипов из центральных и южных районов Сибири ( $R = 0,98$  и  $R = 0,94$ ). В первой группе климатипов, удаленных к северу, тесной связи между этими показателями не наблюдается ( $R = -0,21$ ), очевидно, эти климатипы значительно различаются биологическими особенностями и свойствами. Так, туруханский климатип, являясь типичным представителем подвида сосна северная лапландская, характеризуется меньшей высотой (4,9 м), и небольшим диаметром кроны (1,9 м), североенисейский климатип, произрастая в условиях Енисейского края, наряду с небольшим линейным ростом (5,1 м) имеет более широкую крону (2,2 м), что характеризует его адаптивные свойства в жестких условиях. В потомстве данного климатипа встречаемость ширококронных деревьев составляет 3,8 %. Тесная прямая связь между высотой и диаметром кроны характерна только для богучанского и нижеенисейского климатипов.

Во второй группе (ермаковский, абазинский и канский климатипы) показатели роста значительно выше и различаются слабо (7,0...7,2 м). Средние диаметры кроны также различаются незначительно (2,5...2,7 м), встречаемость ширококронных деревьев 4...12 %. Небольшая высота (6,3 м) и слабое развитие кроны по диаметру (1,8 м), характерное для ачинского климатипа, очевидно, связаны с частичным истощением генофонда материнского насаждения III класса бонитета в индустриально развитом районе.

В третьей группе климатипов из лесостепных и степных районов наилучшим ростом в высоту (7,6...7,8 м) и хорошо развитой кроной (2,7...2,8 м) выделяются минусинский и балгазынский климатипы из островных боров на юге Средней Сибири. Встречаемость деревьев с диаметром кроны от 3,6 до 4,8 м составляет 11,5...20 %. Климатипы из южных районов Восточной

Сибири (заудинский и кяхтинский) отстают в линейном росте (высота 7,0...7,2 м) и развитии кроны по диаметру (2,1...2,2 м). В целом диаметр кроны – это лабильный признак, чутко реагирующий на флуктуацию факторов окружающей среды, поэтому корреляционные связи с климатическими показателями материнских насаждений носят неопределенный характер.

*Протяженность кроны* по стволу дерева – признак более стабильный, в меньшей степени реагирует на флуктуацию факторов окружающей среды и, очевидно, может служить характеристикой климатипов (табл. 2).

Таблица 2

**Встречаемость (%) деревьев с разной протяженностью кроны по стволу  
в потомствах климатипов сосны**

№ п/п	Климатип	Встречаемость деревьев, %, с протяженностью кроны по стволу (в долях от 1)		
		0,3...0,4	0,5...0,6	0,7...0,8
Северная, средняя и южная тайга				
1	Туруханский	0	17	83
2	Богучанский	0	55	45
3	Северонисейский	0	31	69
4	Нижнеонисейский	3	27	70
Южная тайга и лесостепная зона				
5	Ермаковский	16	64	20
6	Канский	23	39	38
7	Абазинский	13	61	26
8	Ачинский	0	73	27
Лесостепная и степная зоны				
9	Заудинский	0	73	27
10	Кяхтинский	0	68	32
11	Минусинский	8	50	42
12	Балгазынский	0	44	56

Связь протяженности кроны по стволу с высотой деревьев в первой группе очень слабая, несущественная ( $R = -0,03$ ), т.е. в пессимальных условиях этот признак в большей степени связан с другими. Во второй группе связь протяженности кроны с высотой дерева отрицательная очень сильная ( $R = -0,96$ ), уменьшение протяженности кроны характеризует деревья из оптимальных условий. В третьей группе связь протяженности кроны с высотой положительная, средняя ( $R = 0,597$ ) – климатипы из степных и лесостепных районов Средней и Восточной Сибири дифференцируются. Так, минусинский и балгазынский климатипы обнаруживают свойства, характерные для второй группы.

Корреляционная связь протяженности кроны с климатическими показателями отражена в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициент корреляции протяженности кроны по стволу  
у сосны разных групп климатипов с климатическими показателями  
в местах происхождения материнских насаждений**

Показатель	Северная, средняя и южная тайга	Южная тайга и лесостепная зона	Лесостепная и степная зоны
Континентальность	-0,200	-0,080	0,960
Среднегодовая температура, °С	-0,998	-0,700	-0,940
Период вегетации, дн.	-0,995	-0,270	-0,220
Сумма температур $\geq 5$ °С	-0,967	-0,770	-0,560
Осадки, мм:			
за год	0,822	0,190	-0,660
за период вегетации	0,400	-0,180	-0,700

В первой группе корреляционная связь протяженности кроны по стволу с континентальностью климата отрицательная слабая ( $R = -0,20$ ). Обнаружена очень сильная отрицательная связь данного признака с показателями теплообеспеченности – суммой температур  $\geq 5$  °С и продолжительностью периода вегетации ( $R = -0,98 \dots 1,0$ ). Корреляция с увлажнением, напротив, положительная ( $R = 0,40$  и  $R = 0,82$ ), что характеризует особенности сосны, произрастающей в пессимальных условиях избыточного увлажнения и низкой теплообеспеченности.

Во второй группе связь протяженности кроны по стволу с континентальностью климата отрицательная слабая ( $R = -0,20$ ). Связь со среднегодовой температурой отрицательная сильная ( $R = -0,70$ ), с периодом вегетации – слабая отрицательная ( $R = -0,27$ ), с суммой температур  $\geq 5$  °С – отрицательная сильная ( $R = -0,77$ ). Связь протяженности кроны с показателями увлажнения в условиях, близких к оптимальным, слабая.

В третьей группе лесостепных и степных боров протяженность кроны по стволу увеличивается с возрастанием континентальности ( $R = 0,96$ ). С показателями теплообеспеченности (суммой температур  $\geq 5$  °С и среднегодовой температурой) связь отрицательная, средней ( $R = -0,56$ ) и сильной ( $R = -0,94$ ) тесноты. С продолжительностью периода вегетации связь незначительна. Очевидно, сказывается влияние дефицита осадков в лесостепных и степных районах на юге Сибири. С годовыми осадками и осадками периода вегетации связь отрицательная, средняя ( $R = -0,66$ ) и сильная ( $R = -0,70$ ), т.е. с увеличением увлажнения уменьшается протяженность кроны по стволу дерева.

*Выводы*

Диаметр кроны у сосны разных климатипов пропорционален росту в высоту и определяется в новых условиях взаимодействием генотип–среда.

В географических культурах (потомства подвидов и климатипов) корреляционный анализ обнаруживает связь протяженности кроны по стволу деревьев с климатическими факторами в местах произрастания материнских насаждений. Увеличение этого показателя связано с влиянием лимитирующих факторов: избыточного увлажнения и дефицита тепла в северных районах; континентальности климата и дефицита увлажнения в лесостепных и степных районах на юге Средней и Восточной Сибири. Уменьшение протяженности кроны наблюдается с ростом теплообеспеченности в пессимальных и оптимальных условиях Средней и Восточной Сибири, а также с увеличением теплообеспеченности и увлажнения в южных районах ареала сосны (лесостепные и степные районы).

Таким образом, увеличение протяженности кроны можно рассматривать как адаптивный признак сосны при лимитировании климатических факторов, различающихся в зависимости от условий произрастания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козубов Г.М. О росте сосны узкокронной формы // Лесн. хоз-во. № 10. С. 23–25.
2. Лигачев И.Н. Изменчивость морфологических признаков и биоэкологических свойств сосны обыкновенной в Бурятской АССР // Леса и лесн. хоз-во Бурятской АССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 189–222.
3. Новикова Т.Н. Географические культуры сосны обыкновенной в республике Бурятия // Лесоведение. 2002. № 2. С. 61–65.
4. Новикова Т.Н. Качество стволов у сосны обыкновенной в географических культурах Западного Забайкалья // Лесн. хоз-во. 2006. № 6. С. 42–43.
5. Побединский А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
6. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная (изменчивость, внутривидовая систематика и селекция). М.: Наука, 1964. 189 с.
7. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири / В.В. Тараканов, В.П. Демиденко, Я.Н. Ишутин, Н.Т. Бушков. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2001. 230 с.
8. Урусов В.М. Основные принципы селекционно-семеноводческой оценки насаждений и деревьев видов сосны родства *Pinus sylvestris* // Исследование и конструирование ландшафтов Дальнего Востока и Сибири. Владивосток, 1998. С. 290–345.

Поступила 31.01.11

*T.N. Novikova*

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

#### **Feature Variability of Crown Development in Progenies of Siberian Scots Pine Climatypes**

The article presents the results of studying crown features of Siberian Scots pine climatypes in provenance trials in the forest-steppe zone of the West Trans-Baikal. Correlation between crown length and climatic factors of shelterwood sites was revealed.

*Keywords:* Scots pine, provenances trials, climatypes, variability, crown.

УДК 630\*431.1

**М.Д. Евдокименко**

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Красноярск)

Евдокименко Михаил Данилович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лесоведения Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет около 100 печатных работ в области лесной таксации, лесоведения и лесоводства.  
E-mail: dismailova@mail.ru



## ГЕОГРАФИЯ И ПРИЧИНЫ ПОЖАРОВ В БАЙКАЛЬСКИХ ЛЕСАХ

Рассмотрена сезонная динамика пожароопасности, приведены пирологические спектры высотно-поясных комплексов растительности, проанализированы географические особенности горимости лесов, антропогенные и природные факторы возникновения пожаров.

*Ключевые слова:* пожары, высотные пояса, пирологические спектры, горимость лесов, антропогенные факторы, грозы.

Леса бассейна оз. Байкал занимают огромную территорию на юго-востоке Сибири, охватывающую полностью либо крупными частями три природных округа: Прибайкалье, Селенгинское среднегорье и Хэнтэй-Чикойское нагорье [8]. Территория региона горная. Основные хребты ориентированы параллельно озеру, т. е. перпендикулярно направлению преобладающих ветров. Предельная удаленность территории от морей и океанов предопределяет крайнюю засушливость климата, которая смягчается лишь в некоторых прибрежных районах за счет местной циркуляции воздушных масс, формирующихся над уникальной байкальской акваторией имеющей, площадь 31,5 тыс. км<sup>2</sup>. Природным своеобразием региона обусловлен выбор цели данной работы – изучение географических особенностей лесных пожаров и причин их возникновения.

В бассейне оз. Байкал выделены следующие высотно-поясные комплексы (ВПК) растительности, % от площади региона: лугово-степной – 16, подтаежно-лесостепной – 25, светлохвойный таежный – 35, кедрово-пихтовый таежный – 2, субальпийско-подгольцовый – 4, тундрово-гольцовый – 9 [6].

По каждому ВПК на протяжении 5 лет проводились исследования сезонной динамики пожароопасности в репрезентативных типах леса по методике Н.П. Курбатского [3]. При этом обеспечивалась надлежащая пожаробезопасность огневых опытов.

Общая продолжительность пожароопасного сезона зависит от длительности бесснежного периода, которая в верхних ВПК (субальпийско-

подгольцовом и тундрово-гольцовом) почти вдвое меньше, чем в лесостепи, по долинам крупных рек. Еще более контрастны различия в запасах снега. Осадки за холодный период года во влажных поясах с темнохвойными насаждениями и в субальпийских лиственничных редколесьях в 2–4 раза обильнее по сравнению с подтаежными и лесостепными территориями.

Примечательная особенность начала пожароопасного сезона на большей части байкальского бассейна, занятой тремя нижними ВПК, заключается в том, что незначительный снежный покров сходит, преимущественно испаряясь в крайне сухой воздушной среде, без существенного увлажнения напочвенных горючих материалов. При скудной годовой норме осадков (250...300 мм) на долю снега приходится всего 5...10 %, поэтому талые воды в преобладающих типах светлохвойных лесов образуются редко. Отсюда – ускоренный ход процесса пожарного созревания степных пространств, лесостепи, а также сосново-лиственничных массивов в таежных ВПК.

Степные пожары в южной части региона возможны уже в середине марта, в экстремальные годы – еще раньше. Почти одновременно горение может распространиться на свободные от снега сосновые насаждения, приуроченные к слабоподнятым инсолируемым местоположениям. К началу апреля от снега обычно освобождается большая часть подтаежно-лесостепного ВПК. В первой половине апреля загорания возможны на всей площади данного комплекса, в последней декаде месяца пожарная опасность регистрируется уже и на большей части светлохвойного таежного ВПК, начиная с разнотравных типов леса. В избыточно увлажненных темнохвойных лесах пожарная опасность наступает намного позже. Так, в кедровом таежном и кедрово-пихтовом ВПК таяние снега растягивается на весь май, в тундрово-гольцовом ВПК процесс разрушения мощного снежного покрова заканчивается в июне. Но в последнем случае вследствие высокой насыщенности влагой пожарное созревание напочвенного покрова идет очень медленно.

В начале пожароопасного сезона для байкальского региона характерен так называемый пожарный максимум, обусловленный специфическим сочетанием малоснежной зимы с продолжительной и глубокой весенней засухой. Количество осадков, выпадающих весной на лугово-степных и подтаежно-лесостепных территориях, оказывается намного меньше испаряемости за тот же период времени. Коэффициент увлажнения в долинах рек Селенга и Баргузин падает в это время до 0,1...0,2. На протяжении мая вероятность дней с влажностью воздуха ниже 30 % составляет 0,60...0,70. В июне коэффициент увлажнения повышается до 0,5...0,8 %. Благоприятная в противопожарном отношении метеобстановка складывается в июле, когда количество атмосферных осадков значительно превышает испаряемость [7].

В отдельные годы, по окончании вегетационного периода в лесных фитоценозах, отмечается осенний пожарный максимум. Последовательность возникновения пожароопасного состояния по ВПК аналогична весенней, однако по длительности и напряженности осенний максимум в 2–3 раза уступает весеннему.

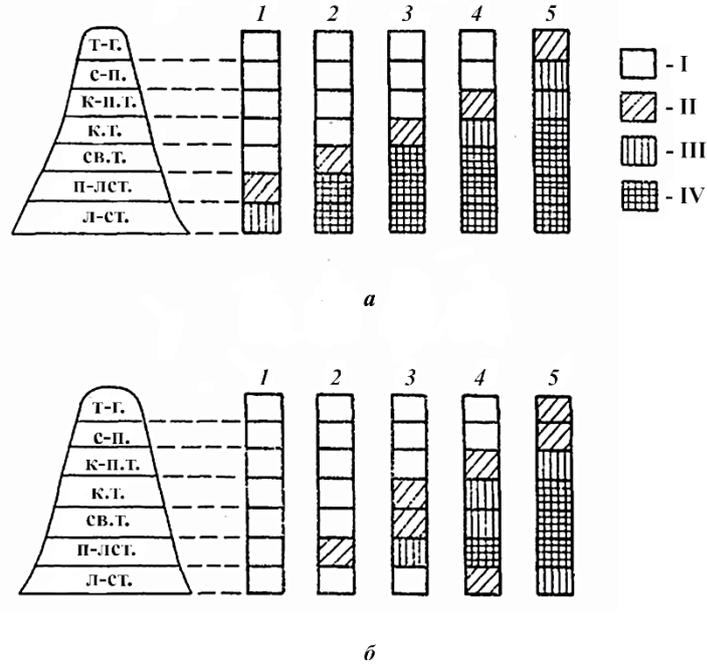


Рис. 1. Весенне-осенние (а) и летние (б) пирологические спектры в лугово-степном (л-ст.) подтаежно-лесостепном (п-лст.), светлохвойном таежном (св. т.), кедровом таежном (к. т.), кедрово-пихтовом таежном (к-п. т), субальпийско-подгольцовом (с-п.) и тундрово-гольцовом (т-г.) ВПК: 1–5 – классы комплексного метеопказателя; I–IV классы пожароопасности: I – непожароопасное состояние; II – слабая пожароопасность (до 30 % территории данного ВПК); III – средняя пожароопасность (31...70 %); IV – высокая пожароопасность (71...100 %)

Окончание пожароопасного сезона наблюдается по высотным поясам в обратной последовательности, по мере образования снежного покрова. Следовательно, максимальная продолжительность горимости лесов за отдельно взятый сезон отмечается в нижних комплексах, где наряду с ранним началом регистрируется и позднее окончание пожароопасного состояния.

Пирологические спектры ВПК, приведенные на рис. 1, дифференцированы в соответствии с классами пожарной опасности по условиям погоды, которые применяются в лесной охране для прогнозирования общей вероятности загораний на лесной территории отдельно взятой хозяйственной единицы. Полученные спектры схематически иллюстрируют характерную картину пожароопасности лесов по высотным поясам при конкретном состоянии погоды в диапазоне 1–5 классов комплексного метеопказателя.

Расширение пожароопасного участка спектра по вертикали весной и осенью протекает адекватно изменениям условий увлажнения в соответству-

ющих поясах. Лугово-степной и подтаежно-лесостепной ВПК занимают на спектрах инициальное положение как в момент начала пожароопасного сезона, так и на всем протяжении указанных периодов. Независимо от характера погоды участки с сухим травяным покровом отличаются наибольшей пожароопасностью.

На летних спектрах рассмотренная высотная закономерность нарушается, так как летом на процесс пожарного созревания влияет не только атмосферное увлажнение, но и вегетация напочвенного покрова других ярусов в фитоценозах.

Процесс пожарного созревания лесов по ВПК детерминирован в основном климатическими условиями, замедляется по мере перехода от нижних поясов к верхним в соответствии с нарастанием увлажнения и снижением теплообеспеченности. Помимо высотно-поясной дифференциации лесопирологического фона пожарное созревание отдельных участков в пределах ВПК зависит от типа леса. Состав насаждений, напочвенный покров, экспозиция и крутизна склонов – факторы, определяющие внутривысотную дифференциацию лесных участков по степени пожароопасности.

На территории наиболее засушливых ВПК, где доминируют сосновые леса, напочвенный комплекс горючих материалов представлен активными легковоспламеняющимися компонентами: отмершей массой травяного покрова, опадом хвои, шишек и мелких ветвей; сухой лесной подстилкой. Тонкие частицы лесного опада и усохшей травы, располагающиеся рыхлым свободно вентилируемым слоем, быстро испаряют влагу. На открытых местах и в изреженных насаждениях на крутых южных склонах достаточно нескольких часов сухой погоды после выпадения несущественных весенних осадков для подсыхания отмершей травы с лесным опадом до воздушно сухого состояния. Причем огонь по сухой траве распространяется в несколько раз быстрее, чем по остальным материалам.

Преобладание на территории лугово-степного и подтаежно-лесостепного ВПК нелесных площадей обуславливает весной и осенью наиболее сложную ситуацию. В течение 3-4 дн. сухой погоды преобладающие типы леса становятся пожароопасными, в то же время высока вероятность их загорания от степных палов, которые способны внедриться в лесные опушки на большом пространстве, особенно при порывах ветра, достигающих весной наибольшей силы. Сильные ветры в Селенгинском среднегорье и Баргузинской котловине наблюдаются весной примерно каждый третий день, на отдельных участках байкальского побережья их скорость может превышать 30 м/с [1, 7].

В светлохвойном таежном поясе преобладают лиственничники. Насаждения сосны, березы и др. пород занимают менее 1/3 площади данного комплекса. Живой напочвенный покров образуют зеленые мхи и кустарнички (брусника, на мерзлотных почвах – багульник болотный). Подлесок: рододендрон даурский, кустарниковые березы и ольховник. Испарение влаги из

лесного опада, располагающегося в кустарничковом ярусе или на моховой подушке, замедлено. Кроме того, структура листовничного опада, представляющего собой плотную войлокообразную массу, препятствует испарению влаги. Поэтому пожарное созревание таежных листовничников отстает от насаждений подтаежно-лесостепных комплексов.

На открытых участках среди таежных листовничников луга чередуются и смешиваются с кустарниковыми зарослями, преимущественно ерниковыми. Их ускоренное пожарное созревание весной сочетается с высокой интенсивностью горения. По этой причине ручьи и мелкие реки, к долинам которых они приурочены, не могут служить противопожарными препятствиями до активной вегетации трав.

Полное пожарное созревание светлохвойной тайги в невегетирующем состоянии происходит в течение 1,5–2,0 нед. сухой погоды. Обычно интервал времени без осадков весной бывает дольше, в особенно засушливые годы достигает 2 мес. и более. Поэтому в метеоусловиях, соответствующих многолетней норме, в период весеннего пожарного максимума, отмечается пирологическая монотонность территории, занятой тремя ВПК (лугово-степным, подтаежно-лесостепным и светлохвойным таежным). Критический порог комплексного метеопоказателя составляет около 3000 ед.

Судя по весенне-осенним спектрам, при отмеченной пирологической монотонности способны гореть местности с различными типами растительности, а возникшие лесные пожары превращаются в ландшафтные, сопровождающиеся локальным обезлесением. Такие пожары регистрировались и в центральной экологической зоне региона, в Голоустненском и Кикинском лесхозах (2003 г.). Критическую обстановку отражает пятый спектр. Если соответствующая ситуация длится более 2 нед., возникают лесопирогенные аномалии. Стихийный огонь распространяется по всему лесному поясу, включая субальпийско-подгольцовый ВПК. Методика прогноза подобных ситуаций нами разработана [1]. Долгосрочный прогноз тяжелых событий 2000 и 2003 гг., к сожалению, оправдался [2].

Количественные характеристики потенциальной пожароопасности лесов по ВПК и типам леса приведены в таблице. Как общая, так и непрерывная продолжительность пожароопасного состояния согласуется с высотнопоясной дифференциацией метеоусловий.

Фактическое возникновение пожаров по ВПК и конкретным категориям лесных земель, способных гореть при определенном состоянии погоды, зависит от непосредственного контакта с источником огня. Антропогенные факторы, в отличие от природных, обычно инициируют почти все загорания байкальских лесов. Исторически неблагополучными в пожарном отношении были лесные массивы, расположенные вблизи поселений и подверженные интенсивному хозяйственному освоению.

## Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал

ВПК	Группы типов леса	Суммарная продолжительность пожароопасного состояния за год, дн.	Максимальная продолжительность непрерывного пожароопасного состояния в засушливые годы, дн.		
			Весна	Лето	Осень
Лугово-степной	С. остепненно-разнотравные	100...125	50	16	15
	Л. остепненно-разнотравные	75...115	41	4	2
Подтаежно-лесостепной	С. горнокаменистые и лишайниковые	100...145	62	16	13
	С. сухоразнотравные	100...140	59	8	9
	С. бруснично-разнотравные	80...130	46	18	9
	С. разнотравно-рододендроновые	80...120	45	6	9
	Л. разнотравно-брусничные	70...105	40	6	8
	Л. рододендроновые	45...70	35	5	7
Светлохвойный таежный	С. рододендроново-брусничные	80...115	25	15	4
	Л. приречьевые разнотравные	60...80	39	3	7
	Б. приречьевые разнотравные	50...70	35	–	5
	Заросли кустарниковых берез (ерники)	45...70	45	–	12
	Л. рододендроново-брусничные	40...65	25	8	5
	Б. рододендроново-брусничные	30...50	23	5	3
	С. зеленомошные	40...65	7	10	5
	Л. ольховниково-рододендроновые	30...55	10	7	4
	Л. багульниковые	20...50	5	18	5
	Л. зеленомошные	18...30	2	12	3
	Л. кустарничково-моховые	15...30	2	15	3
	Е. приречьевые	15...25	7	–	5
	Ос. разнотравные и рододендроновые	15...20	5	–	2

*Окончание таблицы*

ВПК	Группы типов леса	Суммарная продолжительность пожароопасного состояния за год, дн.	Максимальная продолжительность непрерывного пожароопасного состояния в засушливые годы, дн.		
			Весна	Лето	Осень
Кедровый таежный	К. брусничные	15...30	2	15	3
	К. и П. бадановые	10...15	–	5	–
	К. крупнотравные	8...10	–	3	–
Кедрово-пихтовый таежный	К. и П. чернично-зеленомошные	15...25	–	10	–
	П. крупнотравные	10...12	–	2	–
	Ос. крупнотравные	8...10	–	4	–
Субальпийско-подгольцовый	Заросли кедрового стланика	10...20	–	8	5
	К. подгольцовые	10...15	–	8	–
	П. субальпийские	5...10	–	3	–
	Л. подгольцовые	5...10	–	3	–

Примечание. Нижний предел продолжительности пожароопасного состояния соответствует обычной метеобстановке, верхний – экстремальной, наблюдаемой в засушливые годы.

Обезлесение и смены состава лесов в южных и центральных районах бассейна оз. Байкал происходили в результате пожаров, сопутствовавших поселенческим рубкам XVII–XIX вв. и участвовавших с появлением Транссибирской ж.д. Так, в Южном Прибайкалье характерная полоса бережных мелколиственных лесов на месте коренной темнохвойной тайги образовалась вследствие «селективного» воздействия пожаров [5].

Проблематичным фактором являются неконтролируемые выжигания травяной ветоши на лесных лугах и пожнивных остатков на полях, примыкающих к опушкам леса. При этом обычно полагают, что проведение традиционных «сельхозпалов» сразу после схода снега – достаточное условие для предотвращения пожаров в лесных насаждениях, где снежный покров сохраняется дольше. В благополучной обстановке (на сырой поверхности почвы) сухие травы удается сжигать беглым огнем, после чего в течение непродолжительного времени могут слегка дымить верхушки кочек и остатки обгоревших кустарников. В иной ситуации сухая дернина, а тем более оторфованные участки, продолжают тлеть днями и неделями до полного выгорания.

Таяжные территории, где неосмотрительно проводятся столь рискованные мероприятия, оказываются буквально «заминированными» в пожарном отношении. Поэтому, когда тонкая или фрагментарная снежная пелена едва прикрывает сухой наземный слой лесных горючих материалов, дань традиции оборачивается массовыми пожарами, возникающими от многочисленных и малозаметных очагов беспламенного горения вблизи опушек леса. На долю этого фактора обычно приходится 10...20 % лесных пожаров. В экстремальные сезоны так возникают до 50...70 % крупных пожаров, в том числе ландшафтных.

На карте горимости лесов (рис. 2) резко выделяется Селенгинское среднегорье, где при известной пожароопасности произрастающих там сосняков и лиственничников отмечается наибольшее количество источников огня. Помимо сельхозпалов, в данном природном округе пожары часто возникают по различным причинам, объединяемым лесной охраной в категорию «неосторожное обращение с огнем в лесу».

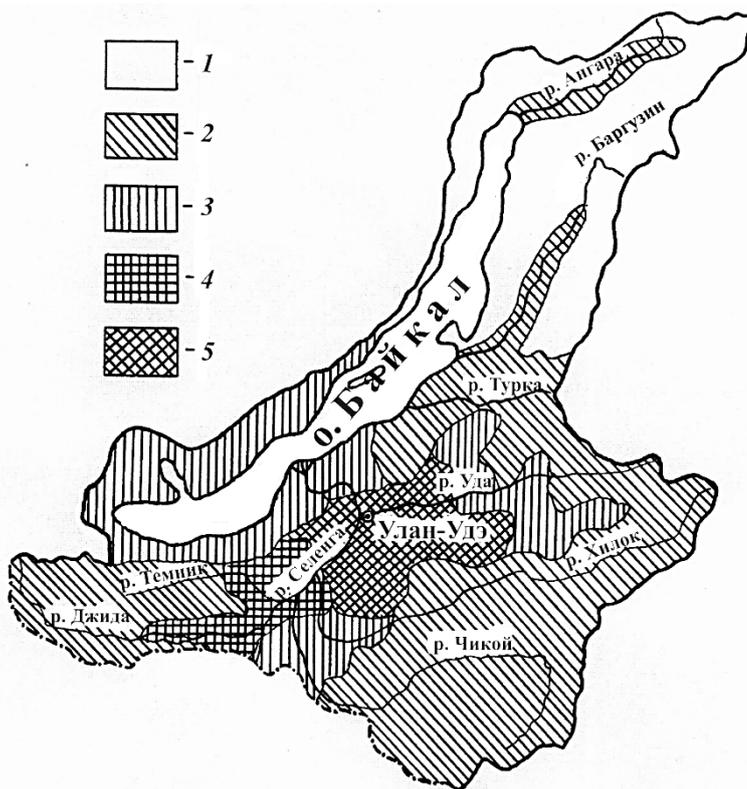


Рис. 2. Схематическая карта фактической горимости байкальских лесов: 1 – малая горимость, 2 – ниже средней, 3 – средняя, 4 – выше средней, 5 – высокая

Пожары в районах лесозаготовок после внедрения экологичных технологий (1960–70 гг.) были редкими. Причем лесозаготовители оперативно их тушили в собственных сырьевых базах, а также помогали лесной охране при напряженной обстановке в смежных лесах. Пожарная обстановка заметно осложнилась с приходом на смену упраздненным леспромхозам нынешних неспециализированных лесозаготовителей.

По официальным данным, доля лесных пожаров от гроз варьируется в пределах 5...20 %. Такие пожары в основном бывают летом, когда часто выпадают дожди, а также активно вегетируют травы. Число дней с грозой в июле (самый грозоопасный месяц) меньше числа дождливых дней [6]. Вследствие малой продолжительности сухой погоды крупные пожары летом отмечаются редко. Во время весеннего максимума, когда возникают массовые и самые опустошительные пожары в байкальских лесах, гроз не бывает.

#### *Выводы*

1. Пожароопасность и фактическая горимость байкальских лесов закономерно дифференцируются по высотным поясам, сообразно климатическим условиям и составу растительных комплексов. Вследствие засушливого климата пожароопасный сезон в регионе отличается высокой напряженностью и большой продолжительностью (с марта по октябрь). Наиболее горимы светлохвойные леса, доминирующие в подтаежно-лесостепном и светлохвойном таежном ВПК. Специфической и экстремальной особенностью лесов является их пирологическая монотонность, наблюдаемая на большей части территории в период весеннего пожарного максимума, когда на огромных пространствах не бывает естественных препятствий для распространения огня, кроме широких рек и озер.

2. Основные причины пожаров: неконтролируемые выжигания травянистой растительности (сельхозпалы) и небрежное обращение с огнем в лесу. Пожары от молний малочисленны, поскольку грозы в основном бывают в период летнего максимума атмосферных осадков.

3. Исходя из потенциально высокого пожарного риска, охрану байкальских лесов следует осуществлять в соответствии с известной концепцией Н.П. Курбатского [4, с. 123] о гибком сочетании всех видов лесопожарной профилактики с высокой оперативностью их обнаружения и ликвидации. Для повышения эффективности профилактики следует оптимизировать регламент контролируемых выжиганий, проводимых вблизи лесных опушек. Обязательным условием должна быть предварительная прокладка защитных минерализованных полос. Огневые работы целесообразно проводить в октябре (по северным районам – в конце сентября), по мере установления благоприятной погоды I–II классов пожароопасности. Рекомендуется режим беглого слабого огня по мерзлому грунту, перед выпадением снега. Должны быть подготовлены защитные минполосы и обеспечено надлежащее окарауливание выжигаемых площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евдокименко М.Д.* О долгосрочном прогнозировании высокой пожароопасности лесов в Байкальском регионе // Лесн. хоз-во. 2000. № 1. С. 47–50.
2. *Евдокименко М.Д.* Природа пожаров в байкальских лесах и совершенствование их противопожарной охраны // Леса бассейна Байкала. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 159–227.
3. *Курбатский Н.П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
4. *Курбатский Н.П.* Некоторые вопросы стратегии, тактики и техники охраны леса от пожаров // Вопросы пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО РАН СССР, 1972. 130 с.
5. *Панарин И.И.* Леса Прибайкалья. М.: Наука, 1979. 263 с.
6. *Поликарпов Н.П., Бабинцева Р.М., Чередникова Ю.С.* Экологические основы ведения лесного хозяйства в бассейне оз. Байкал // Растительные ресурсы Забайкалья, их охрана и использование. Улан-Удэ, 1979. С. 52–57.
7. *Справочник по климату СССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1966–1969. Вып. 23, ч. I–V.
8. *Типы местности и природное районирование Бурятской АССР / В.С. Преображенский, Н.В. Фадеева, Л.И. Мухина, Г.М. Томилов.* М.: Изд-во АН СССР, 1959. 218 с.

Поступила 28.01.11

***M.D. Evdokimenko***

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

**Forest Fire Causes and Distribution in the Baikal Region**

This study focused on the seasonal fire hazard dynamics. Altitudinal vegetation belt-specific ranges of fire characteristics (fire spectra) were identified. Spatial patterns of forest fire activity, as well as human and natural factors accounting for fire occurrence were analyzed.

*Keywords:* fire, altitudinal belts, fire spectrum, forest fire activity, human factors, storms.

---



УДК 629.33

*Д.Г. Мясищев, А.С. Вашуткин*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мясищев Дмитрий Геннадьевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 30 печатных работ в области разработки, создания и исследования мобильных средств малой механизации лесного комплекса.  
E-mail: d.myasishchev@narfu.ru



Вашуткин Александр Сергеевич родился в 1980 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 10 печатных работ в области исследования лесовозного автомобильного транспорта.  
E-mail: Vashutkin.a@yandex.ru



## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДВОДА СЖАТОГО ВОЗДУХА МЕЖДУ ФРИКЦИОННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА**

Выполнен статистический анализ результатов экспериментального исследования подачи сжатого воздуха между фрикционными поверхностями тормозного механизма барабанного типа. На основании этого даны рекомендации по дальнейшему его совершенствованию.

*Ключевые слова:* коэффициент трения, коэффициент эффективности, коэффициент стабильности, уравнение регрессии, погрешность измерения, тормозная сила.

Ранее нами установлено [1], что после создания экспериментального тормозного механизма на основе теории оптимального планирования эксперимента требуется найти и проанализировать регрессионные математические модели, в которых функциями отклика будут коэффициенты эффективности  $C_T$  и относительной чувствительности  $e$ , а независимыми переменными – давление подаваемого воздуха  $P_B(X_1)$  и диаметры подводящих отверстий в штуцерах  $d_0(X_3)$ .

Целью работы является получение и анализ экспериментальных значений характеристик и параметров тормозной системы лесотранспортной машины.

Матрица опытов по плану Бокса–Хантера с результатами измерений тормозной силы  $P_T$  на правом и левом (экспериментальном) колесах и косвенных ( $C_T$  и  $e$ ) показателей представлена в табл. 1.

---

© Мясищев Д.Г., Вашуткин А.С., 2013

Таблица 1

№ опыта	Независимые переменные		$\gamma$	Правое колесо		Левое колесо		$f$	$C_T$	$\epsilon$
	$X_1$ , МПа	$X_2$ , мм		$P_T$ , Н	$M_{гор.к.}$ , Н·м	$P_T$ , Н	$M_{гор.к.}$ , Н·м			
1	0,12	2,9	0,667	7320	3294,0	9 360	4 212,0	0,184	0,204	1
2	0,66	2,9	0,733	8520	3834,0	9 790	4 405,5	0,193	0,214	0,930
						9 890	4 450,5	0,196	0,216	
						8 850	3 982,5	0,174	0,193	
						9 360	4 212,0	0,184	0,204	
3	0,12	7,1	0,693	7580	3411,0	9 810	4 414,5	0,193	0,214	0,750
						9 830	4 423,5	0,194	0,215	
						9 710	4 369,5	0,191	0,212	
						9 750	4 387,5	0,192	0,213	
4	0,66	7,1	0,738	8310	3739,5	12 030	5 413,5	0,237	0,263	0,980
						10 780	4 851,0	0,213	0,236	
						10 040	4 518,0	0,197	0,219	
						11 170	5 026,5	0,220	0,244	
						10 140	4 563,0	0,200	0,222	
5	0	5,0	0,710	7920	3564,0	10 430	4 693,5	0,205	0,228	1,020
						9 360	4 212,0	0,184	0,204	
						10 450	4 702,5	0,205	0,228	
						9 400	4 230,0	0,185	0,205	
						9 520	4 284,0	0,187	0,208	
6	0,77	5,0	0,726	8050	3622,5	9 650	4 342,5	0,190	0,211	1,000
						9 340	4 203,0	0,184	0,204	
						9 480	4 266,0	0,186	0,207	
						9 230	4 153,5	0,182	0,202	
						10 100	4 545,0	0,199	0,221	
7	0,39	2,0	0,632	8090	3640,5	8 250	3 712,5	0,162	0,180	0,950
						8 210	3 730,5	0,163	0,181	
						8 040	3 618,0	0,159	0,176	
						7 710	3 469,5	0,151	0,168	

Окончание табл. 1

№ опыта	Независимые переменные		$\gamma$	Правое колесо		Левое колесо				$e$
	$X_1$ , МПа	$X_2$ , мм		$P_{т, Н}$	$M_{т, к. Н\cdot м}$	$P_{т, Н}$	$M_{т, к. Н\cdot м}$	$f$	$C_t$	
8	0,39	8,0	0,728	7600	3420	8 040	3 618,0	0,159	0,176	1,014
						8 530	3 838,5	0,168	0,186	
						8 530	3 838,5	0,168	0,186	
						8 470	3 811,5	0,167	0,185	
						7 960	3 582,0	0,157	0,174	
						9 850	4 432,5	0,194	0,215	
						9 520	4 284,0	0,187	0,208	
						10 590	4 765,5	0,208	0,231	
9	0,39	5,0	0,706	8230	3703,5	9 420	4 239,0	0,186	0,206	1,000
10	0,39	5,0	0,770	8720	3924,0	10 530	4 738,5	0,207	0,230	
11	0,39	5,0	0,718	8310	3739,5	9 650	4 342,5	0,190	0,211	
12	0,39	5,0	0,807	8420	3789,0	11 760	5 292,0	0,232	0,257	
13	0,39	5,0	0,716	8350	3757,5	9 540	4 293,0	0,187	0,208	

Примечание.  $\gamma$  – удельная тормозная сила задней оси лесовозного автомобиля;  $M_{т, к}$  – тормозной момент на колесе;  $f$  – коэффициент трения фрикционной пары тормозного механизма на колесе.

После получения численных значений тормозной силы  $P_T$  определена точность ее измерения (для экспериментального колеса), данные представлены в табл. 2. Анализ полученных результатов показал, что точность измерения  $P_T$  не превышает 5 %, что допустимо при дальнейшей обработке результатов.

Таблица 2

№ опыта	Независимые переменные		Тормозная сила на левом колесе, Н	Среднее значение $P_T$ с основной погрешкой, Н	Среднее квадратичное отклонение	Точность опыта, %	Достоверность среднего значения	Коэффициент надежности
	$X_1$ , МПа	$X_2$ , мм						
1	0,12	2,9	9 360	9 540,00±195,75	437,721	2,052	48,734	4,588
2	0,66	2,9	9 790 9 890 8 850 9 360					
3	0,12	7,1	9 810 9 830 9 710	9 763,33±35,28	61,101	0,361	276,764	0,626
4	0,66	7,1	9 750 12 030 10 780 10 040 11 170 10 140 10 430 9 360 10 450	10 835,00±364,57	815,212	3,366	29,711	7,526
5	0	5,0	9 400 9 520 9 650 9 340 9 480	9 032,00±249,63	558,185	2,539	39,387	5,677
6	0,77	5,0	9 230 10 100 8 250 8 210 8 040	9 560,00±152,22	340,367	1,592	62,805	3,560
7	0,39	2,0	7 710 8 040 8 530 8 530 8 470	8 052,50±122,91	245,815	1,526	65,517	3,053
8	0,39	8,0	7 960 9 850 9 520	8 936,25±333,12	942,215	3,728	26,826	10,544
9	0,39	5,0	10 590 9 420	10 180,00±440,85	985,774	4,331	23,092	9,683
10	0,39	5,0	10 530					
11	0,39	5,0	9 650					
12	0,39	5,0	11 760					
13	0,39	5,0	9 540					

Следуя методике проведения эксперимента и обработки его результатов, требовалось определить погрешность вычисления косвенных показателей по ГОСТ Р 50.2.038–2004 [3]. Согласно проведенным вычислениям максимальная погрешность косвенных измерений для коэффициентов трения, эффективности и стабильности составляет 1,95, 2,16 и 4,33 %, что также допустимо при дальнейшей обработке экспериментальных данных.

Статистической обработке было подвергнуто изменение косвенных показателей  $f$ ,  $C_T$  и  $e$  от изменения независимых переменных  $X_1$  (давление подаваемого воздуха между тормозным барабаном и колодкой) и  $X_2$  (диаметр подводящего отверстия в штуцере).

При обработке результатов эксперимента требовалось получить уравнения регрессии, определить их значимость по критерию Фишера, а также значимость коэффициентов, входящих в них, по критерию Стьюдента. Обработку результатов проводили с помощью табличного редактора Microsoft Excel.

Используя функцию «Статистика», сначала определяли, какие критерии при корреляционном анализе будут применяться для обработки полученных экспериментальных данных: параметрические или непараметрические. В ходе корреляционного анализа выявляли, каким образом (линейно или нелинейно) прямые и косвенные показатели связаны с независимыми переменными.

Найденные корреляции (параметрические и непараметрические) указывают на присутствие как линейной, так и нелинейной связи между независимыми переменными  $X_1$  и  $X_2$  и косвенными показателями измерения.

Статистический анализ изменения коэффициента трения от двух независимых переменных показал, что это изменение плохо описывается линейной моделью, лучше – гиперболической моделью (при этом коэффициент детерминации для гиперболической модели выше, чем для линейной – соответственно 0,448 и 0,247):

$$f(X_1, X_2) = \alpha_0 + \alpha_1 \frac{1}{X_1} + \alpha_2 \frac{1}{X_2}, \quad (1)$$

где  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – коэффициенты уравнения регрессии,  $\alpha_0 = 0,20763913$ ,  $\alpha_1 = 1,38699$ ,  $\alpha_2 = -0,0804$ .

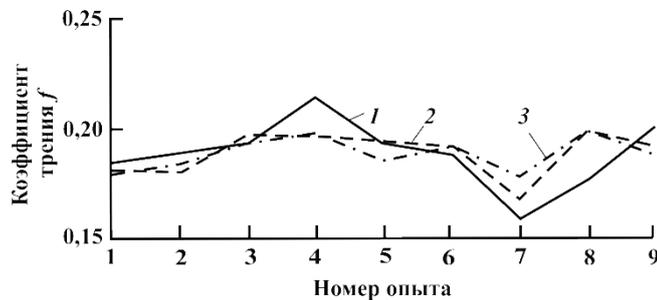
Полученное уравнение регрессии (1) гиперболической модели значимо при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Также значимы и коэффициенты данного уравнения. На рисунке *a* приведены графики изменения коэффициента трения, построенные по эмпирическим данным, а также с использованием линейной и гиперболической моделей.

Статистический анализ изменения коэффициента эффективности  $C_T$  от двух независимых переменных показал, что это изменение хуже описывается гиперболической и квадратичной моделями, но лучше – линейной:

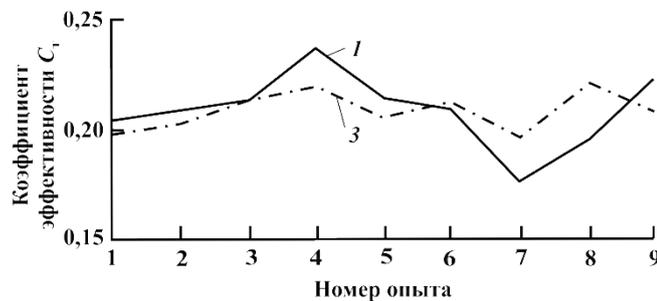
$$C_T = (X_1, X_2) = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2, \quad (2)$$

где  $\alpha_0 = 0,1861$ ,  $\alpha_1 = 0,0092$ ,  $\alpha_2 = 0,0038$ .

Изменение коэффициентов трения (*a*) и эффективности (*б*) от независимых переменных: 1 – модель, построенная на экспериментальных значениях, 2 – гиперболическая модель, 3 – линейная модель



а



б

Полученное уравнение регрессии (2) линейной модели значимо на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Также значимы и коэффициенты данного уравнения. На рисунке б показаны графики изменения коэффициента  $C_T$  по эмпирическим данным, а также с использованием линейной модели.

Статистический анализ изменения коэффициента стабильности  $e$  от независимых переменных показал, что он не зависит ни от давления подаваемого воздуха, ни от диаметра подводющих отверстий в штуцерах.

В ходе анализа графиков (см. рисунок) установлено, что  $f$  и  $C_T$  изменяются от давления подаваемого воздуха и диаметра подводющих отверстий в следующих пределах:  $f = 0,167...0,198$  (на 15,66 %) и  $C_T = 0,197...0,2194$  (на 10,2 %). На коэффициент стабильности  $e$  кратковременные торможения вообще не оказывают никакого влияния. Известно, что коэффициент стабильности для рассматриваемых тормозных механизмов  $e = 1$ , значит подача сжатого воздуха под давлением между тормозными колодками и тормозным барабаном не приведет к его снижению. Следовательно, в экспериментальных и практических целях выбирать  $P_B$  и  $d_0$  нужно с учетом эффективного снижения температур пар трения, так как тепловая нагрузка в большей степени влияет на эти параметры.

В работе [2] показано, что для лучшего охлаждения тормозных механизмов давление воздуха должно находиться в пределах 0,324...0,617 МПа. Из полученных экспериментальных данных видно, что такое давление не приведет к динамической неустойчивости тормозного механизма в процессе

его работы, не создаст противодействия сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном на привод тормозных колодок и, следовательно, не уменьшит механический КПД тормозного привода.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы.

1. Рекомендуется для достижения максимальных значений коэффициентов трения  $f$  и эффективности  $C_T$  тормозного механизма применять следующие значения параметров тормозной подсистемы:  $P_B = 0,66$  МПа и  $d_0 = 7,1$  мм.

2. Максимальное давление воздушной подушки, образующейся между тормозными колодками и тормозным барабаном при  $P_B = 0,66$  МПа и  $d_0 = 7,1$  мм, не будет создавать противодействия силам, приводящим тормозные колодки в движение, тем самым будет обеспечено стабильное функционирование тормозного механизма.

3. Коэффициент стабильности для рассматриваемого тормозного механизма  $e = 1$  и не меняет свое значение при подаче сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном.

4. Мероприятие, связанное с подачей сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном, как показал эксперимент, не приводит к снижению основных параметров, регламентирующих работу тормозной системы лесотранспортной машины.

5. Для реализации процесса подачи сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном ко всем тормозным механизмам требуется разработать универсальные узлы и детали, которые компактно располагались бы на лесотранспортной машине, были недороги в изготовлении и просты в обслуживании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вашуткин А.С., Мясичев Д.Г.* Анализ функционирования барабанных тормозных механизмов автолесовозов и пути улучшения их показателей // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 61–68. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Вольченко А.И., Замора Ю.С.* Барабанно-колодочные тормозные устройства. Львов : Вища шк., 1980. 108 с.

3. ГОСТ Р 50.2.038–2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. Введ. 2005-01-01. М.: Госстандарт России, 2005. 11 с.

Поступила 04.10.11

*D.G. Myasishchev, A.S. Vashutkin*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Results of an Experimental Investigation of Compressed Air Supply between the Drum Brake Friction Surfaces**

The paper considers the results of an experimental investigation of the process of compressed air supply between the drum brake friction surfaces. Recommendations are given for its further improvement.

*Keywords:* coefficient of friction, efficiency factor, coefficient of stability, regression equation, error of measurement, braking force.

УДК 630\*36

**В.Н. Шиловский, В.А. Кяльвияйнен**

Петрозаводский государственный университет

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 200 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.  
E-mail: tmir@psu.karelia.ru.



Кяльвияйнен Вейкко Армасович родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет 10 печатных работ в области повышения уровня технической эксплуатации лесозаготовительных машин.  
E-mail: vek-1987@mail.ru.



## **ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Предложена методика оценки и прогнозирования времени восстановления работоспособности и трудоемкости технического обслуживания лесозаготовительных машин. Обоснованы уравнения корреляционной связи между временем восстановления работоспособности трансмиссии и весом машины, а также между оперативной трудоемкостью обслуживания и техническими параметрами машины.

*Ключевые слова:* эксплуатационная технологичность, время восстановления работоспособности, оперативная трудоемкость обслуживания, технические параметры конструкции, корреляционная связь.

При проектировании лесозаготовительной машины (ЛЗМ) перед конструктором периодически возникает задача оценки эксплуатационной технологичности (ЭТ) создаваемой конструкции в целях подтверждения обоснованности принятых решений.

Задача качественной оценки уровня ЭТ ЛЗМ на стадии проектирования решается, в основном, методами сравнения с прототипом и экспертным [3], а при отсутствии явно выраженного прототипа – методом оценки по баллам.

Количественные методы задания и оценки ЭТ позволяют создавать и использовать методы прогнозирования показателей ЭТ, основанные на использовании математической статистики и, в первую очередь, методов корреляции, многофакторного и регрессионного анализов [2]. Границы применения того или иного метода определяются многими факторами, в том числе степенью

конструктивной преемственности машин и однородностью условий их обслуживания и ремонта. Поэтому прогноз показателя может быть корректным, если значения конструктивных параметров оцениваемого элемента, подставляемые в уравнение, находятся в пределах матрицы наблюдений, на основе которой получено уравнение связи или регрессии.

Конкретной целью является предсказание количественного значения показателя ЭТ проектируемого объекта.

В качестве примера определим уравнение связи между временем восстановления работоспособности ЛЗМ и ее весом.

Рассмотрим характеристики ЭТ тракторов Онежского тракторного завода (ОТЗ): ТДТ-55А, ТБ-1М (ТБ-1М-15) и ЛЗМ на их базе (ЛП-30Г, ПЛ-1В, ЛП-17А).

Один из основных показателей ЭТ ЛЗМ – среднее время восстановления, или среднее время устранения среднестатистического отказа. Одной из основных систем, время устранения отказа которой в наибольшей степени зависит от агрегатированности, т. е. насыщения технологическим оборудованием и гидросистемой, является трансмиссия ЛЗМ. Наличие более сложного технологического оборудования и гидросистемы определяет увеличение веса ЛЗМ по сравнению как с базовой моделью, так и с ее аналогами и прототипами.

В табл. 1 представлены данные опытных наблюдений за тракторами ОТЗ и ЛЗМ на их базе за наработку в объеме 3000 мото-ч в условиях лесозаготовительных предприятий Республики Карелия [4, 5].

Таблица 1

**Исходные данные для определения уравнения связи между временем восстановления и массой ЛЗМ**

Показатель ЭТ ЛЗМ	Трактор ТДТ-55А	Лесопогрузчик ПЛ-1В	Сучкорезная машина ЛП-30Б	Трактор ТБ-1М	Валочно-трелевочная машина ЛП-17А
Масса, т	8,7	11,3	12,3	13,8	14,3
Среднее время восстановления трансмиссии, ч	2,5	2,8*	3,1	5,2	5,5

\* Время устранения среднестатистического отказа в целом по лесопогрузчику.

Для определения уравнения связи (корреляции) между весом ЛЗМ ( $x$ ) и средним временем восстановления ( $y$ ), т. е. устранения среднестатистического отказа трансмиссии, согласно рекомендациям работы [1] и рисунка, составим расчетную вспомогательную табл. 2, предполагая непрямолинейность искомого уравнения связи – уравнения параболы второго порядка  $y = ax^2 + bx + c$ .

Эмпирическая зависимость  
времени восстановления от  
массы машины

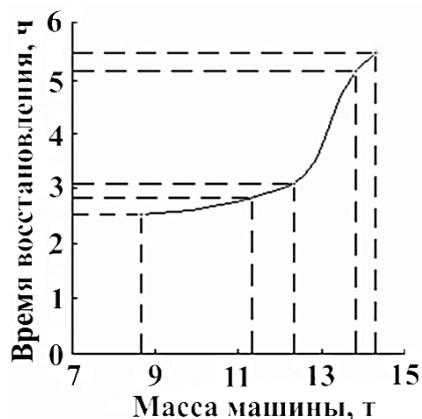


Таблица 2

**Результаты вспомогательных расчетов для определения уравнения связи  
в виде уравнения параболы второго порядка**

Аргумент <i>x</i> , т	Функция <i>y</i> , ч	Вспомогательные данные				
		$x^2$	$x^3$	$x^4$	$x^2y$	$xy$
8,7	2,5	75,69	658,50	5728,95	189,23	21,75
11,3	2,8	127,69	1442,90	16304,77	357,53	31,64
12,3	3,1	151,29	1860,87	22888,70	469,00	38,13
13,8	5,2	190,44	2628,07	36267,37	990,29	71,76
14,3	5,5	204,49	2924,27	41816,20	1124,70	78,65
$\Sigma 60,4$	$\Sigma 19,1$	$\Sigma 749,60$	$\Sigma 9514,61$	$\Sigma 123005,99$	$\Sigma 3130,75$	$\Sigma 241,93$

По результатам вспомогательных расчетов составляется ориентировочная табл. 3. В первых трех столбцах записываются те выражения, которые в принятом уравнении параболы являются множителями при параметрах  $a$ ,  $b$ ,  $c$ :  $x^2$  – при  $a$ ;  $x$  – при  $b$ ;  $1$  – при  $c$ . В последнем столбце ставится определяемое по этому уравнению значение  $y$ . Затем на пересечении второго столбца ( $x$ ) и первой строки ( $x^2$ ) записывается их произведение ( $x^3$ ). Если не принимать во внимание повторения, то в табл. 3 имеется восемь разных выражений ( $x^4$ ,  $x^3$ ,  $x^2$ ,  $x$ ,  $x^2y$ ,  $xy$ ,  $y$  и  $1$ ). В окончательном варианте ориентировочной таблицы вместо  $1$  записано  $5$ . Это сделано на том основании, что во всех клетках записывают суммы числовых значений соответствующих выражений. Единицу нужно было бы повторить пять раз, т. е. получилось бы число  $5$ , что и есть в таблице. Вместо единицы в ориентировочной таблице записывается общее число наблюдений.

Таблица 3

**Определение параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  параболы второго порядка  
по способу наименьших квадратов**

Обозначение	$x^2$	$x$	$1$	$y$
$x^2$	$x^4 = 123\ 005,99$	$x^3 = 9\ 514,61$	$x^2 = 749,60$	$x^2y = 3\ 130,75$
$x$	$x^3 = 9\ 514,61$	$x^2 = 749,60$	$x = 60,40$	$xy = 241,93$
$1$	$x^2 = 749,60$	$x = 60,40$	$1 = 5,00$	$y = 19,10$

С помощью окончательной ориентировочной таблицы составляются так называемые «нормальные» уравнения, при совместном решении которых можно определить числовые значения параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Первое уравнение получаем из чисел первой строки, второе – из чисел второй, третье – из чисел третьей. При этом первые три числа каждой строчки служат коэффициентами при параметрах  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , а последние являются свободными членами уравнения.

Итак, получается система трех нормальных уравнений с тремя неизвестными значениями параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$ :

$$\begin{aligned} 123\,005,99a + 9\,514,6b + 749,60c &= 3\,130,75; \\ 9\,514,61a + 749,60b + 60,40c &= 241,93; \\ 749,60a + 60,40b + 5,00c &= 19,10. \end{aligned}$$

В целях определения количественных значений параметров систему уравнений решаем способом сложения и вычитания. Первоначально каждое уравнение соответственно делим на коэффициент при  $c$  и получаем новую систему уравнений с коэффициентом 1 при  $c$ . Затем для исключения параметра  $c$  вычитаем второе уравнение из первого и третье из второго. Из оставшихся двух уравнений с двумя неизвестными  $a$  и  $b$  таким же способом исключаем параметр  $b$  и находим параметр  $a$ . Подставив  $a$  в одно из уравнений с двумя неизвестными, определяем  $b$ . Подставляем  $a$  и  $b$  в одно из уравнений с тремя неизвестными и находим  $c$ . В нашем случае:  $a = 0,075$ ;  $b = -1,15$ ;  $c = 6,49$ . Правильность вычислений параметров проверяем путем подстановки их в одно из первоначальных уравнений:

$$749,60 \cdot 0,075 + 60,40 \cdot (-1,15) + 5 \cdot 6,49 = 19,06 \approx 19,10.$$

Вычисления сделаны правильно. Разница в 0,04 обусловлена округлением при вычислениях.

Подставляя полученные значения параметров в уравнение параболы  $y = ax^2 + bx + c$ , получаем:  $y = 0,075x^2 - 1,15x + 6,49$ . Пригодность полученного уравнения оцениваем путем сравнения экспериментальных данных с данными, вычисленными по этому уравнению, результаты сводим в табл. 4.

Таблица 4

**Сравнение опытных и вычисленных по формуле значений среднего времени устранения отказов**

Масса машины $x$ , т	Время восстановления $y$ , ч		Разница $\Delta$		Сумма квадратов отклонений $\Delta^2$
	опытное	вычисленное	абсолютная, ч	в %	
8,7	2,5	2,20	-0,30	-12	0,09
11,3	2,8	3,07	0,27	9	0,07
12,3	3,1	3,44	0,33	10	0,09
13,8	5,2	4,90	-0,30	-6	0,09
14,3	5,5	5,38	-0,12	-2	0,01

Наименьшая сумма квадратов отклонений  $\Delta^2$  принятого уравнения составляет 0,35. Данное уравнение допустимо для практического применения, хотя не исключается, что могут быть получены и более точные результаты при использовании другой формулы, например  $y = ax^b$ .

Учитывая, что область применения уравнения может быть расширена до 20 % от исследуемых предельных значений параметра, т. е. массы ЛЗМ, его можно применять в диапазоне изменения массы проектируемой машины от 7 до 17 т.

Корреляционную связь между оперативной трудоемкостью технического обслуживания (ТО) и техническими параметрами машины представим в виде уравнения регрессии [6]:

$$S = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} x_3^{a_3} \dots x_m^{a_m}, \quad (1)$$

где  $S$  – оперативная трудоемкость по видам обслуживания (зависимая переменная);

$a_0, \dots, a_m$  – коэффициенты уравнения регрессии;

$x_0, \dots, x_m$  – конструктивные и эксплуатационно-технологические факторы (независимые переменные);

$x_1$  – средневзвешенная периодичность ТО;

$x_2$  – число видов ТО;

$x_3, x_4, x_5$  – число операций обслуживания: соответственно контрольно-заправочных, крепежно-регулирующих, моечно-очистных;

$x_6$  – число встроенных контрольных приборов;

$x_7$  – число емкостей, заправляемых маслами;

$x_8$  – число инструментов, прикладываемых к трактору (используемых при ТО и текущем ремонте).

Связь между результирующими признаками эксплуатационной технологичности ( $S$ ) и факторами ( $x_1, x_2, \dots, x_m$ ) можно представить в виде матрицы:

$$\begin{matrix} S_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ S_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_n & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{matrix}$$

Таким образом, на основании материалов испытаний тракторов ОТЗ и машин на их базе получено следующее уравнение регрессии:

$$S = 4399,7 x_1^{-0,79} x_2^{-0,80} x_3^{-0,39} x_4^{0,08} x_5^{0,29} x_6^{-0,37} x_7^{0,58} x_8^{0,59}. \quad (2)$$

Все факторы, вошедшие в уравнение (2), по  $t$ -критерию значимы при вероятности  $\alpha = 0,1$  и числе степеней свободы  $\nu = 3$  (коэффициент множественной детерминации  $R^2 = 0,89$ ; критерий Фишера  $F = 7,97$ ). По уравнениям, подобным уравнению (2), можно определять трудоемкость ТО на этапе проектирования, в процессе модернизации машин, а также давать сравнитель-

ную оценку эксплуатационной технологичности разных машин, оценивать эффект различных мероприятий, улучшающих технологичность конструкций машин.

#### *Выводы*

1. Прогнозирование количественных значений показателей эксплуатационной технологичности как показателей качества перспективных ЛЗМ может быть осуществлено с использованием обыкновенных корреляционных уравнений, основывающихся на статистических результатах испытаний на надежность аналогов и прототипов ЛЗМ.

2. Корреляционное уравнение связи между массой машины и временем восстановления работоспособного состояния трансмиссии для тракторов ОТЗ и ЛЗМ на их базе может представлять собой уравнение параболы:  $y = 0,075x^2 - 1,15x + 6,49$ .

3. Уровень эксплуатационной технологичности лесозаготовительной машины оценивается ее приспособленностью к текущему ремонту и техническому обслуживанию через корреляционную связь результирующих признаков (продолжительность и трудоемкость технических воздействий) с эксплуатационными и конструктивными факторами машины. Получено уравнение корреляционной связи оперативной трудоемкости обслуживания тракторов ОТЗ и ЛЗМ с их техническими параметрами.

4. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками лесозаготовительной техники, дилерскими пунктами и предприятиями, занимающимися эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом лесозаготовительной техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонтьев Н.Л.* Техника статистических вычислений. М.: Лесн. пром-сть, 1996. 247 с.
2. *Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
3. Ремонтпригодность машин / Под ред. П.Н. Волкова. М.: Машиностроение, 1975. 368 с.
4. *Шиловский В.Н., Гольштейн Г.Ю.* Об исследовании параметрического отказа гидросистемы манипулятора бесчokerного трактора // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 89–94. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Шиловский В.Н.* Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования: моногр. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 324 с.
6. Эксплуатационная технологичность конструкций тракторов / В.М. Михлин [и др.]. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.

Поступила 26.03.12

*V.N. Shilovsky, V.A. Kyalviaynen*

Petrozavodsk State University

**Estimation of Maintenance Workability of Logging Machines**

The article proposes a method of estimating and forecasting restoration time and maintenance burden of logging machines. Correlation equations between transmission restoration time and machine weight, as well as between maintenance burden and technical parameters of logging machines were proved.

*Keywords:* maintenance workability, restoration time, maintenance burden, technical parameters of construction design, correlation.

---

УДК 625.711.84

**О.Н. Оруджова**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Оруджова Ольга Низамиевна окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов САФУ. Имеет 20 печатных работ в области дорожного строительства с использованием геосинтетических материалов.  
E-mail: olga.orudzhova@yandex.ru



## **ВЛИЯНИЕ ГИБКИХ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОСЛОЕК НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Приведена методика и результаты полевых испытаний на прочность по упругому прогибу дорожных конструкций с гибкими геотекстильными прослойками.

*Ключевые слова:* лесовозные дороги, гибкая геотекстильная прослойка, отработанные сукна и сетки (отходы целлюлозно-бумажного производства), прочность, прогиб, модуль упругости.

Совершенствование дорожных конструкций лесовозных дорог может быть обеспечено путем применения при строительстве гибких геотекстильных прослоек из отходов целлюлозно-бумажного производства – отработанных сукон и сеток (ОСС). Данные материалы, изготовленные в основном из полиэфира, полипропилена и полиамида, могут быть полноценными заменителями геотекстильных материалов. Во-первых, они более доступны для строительства лесных дорог по стоимости, во-вторых, они образуются как вторичное сырье внутри основных лесных холдингов на базе целлюлозно-бумажных комбинатов.

Под воздействием колес автомобилей и других транспортных средств и климатических факторов происходит износ верхнего слоя покрытия, иногда появляются деформации в виде выбоин, волн, просадок, сдвигов, наплывов. Поэтому одной из важнейших задач при проектировании лесовозных автомобильных дорог является определение прочности дорожного покрытия [3, 4].

Для оценки влияния прослойки ОСС на прочность дорожных конструкций с гравийными покрытиями были проведены полевые испытания на построенных опытных участках, которые включали экспериментальные (с прослойками из ОСС) и контрольные (без прослоек) секции. Экспериментальные и контрольные секции располагались в одинаковых условиях, т.е. на протяжении секций выбирался однородный тип местности по условиям и степени увлажнения, грунтовым условиям, рельефу, применялась одинаковая толщина покрытия.

Отработанные сукна и сетки укладывали под новый слой покрытия.

Прочностные испытания дорожных конструкций на опытных участках производили методом статического нагружения колесом расчетного автомобиля с измерением упругих осадок рычажным прогибомером в соответствии с ОДН 218.1.052–2002 [2] (рис. 1). На основании опытов получены упругие осадки покрытия при укладке различных сукон и сеток и вычислены общие модули упругости дорожной конструкции.

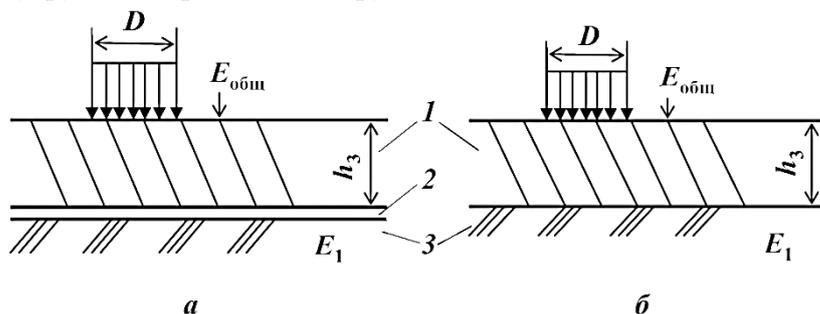


Рис. 1. Расчетные схемы для оценки влияния прослойки на модуль упругости дорожной конструкции: *a* – с прослойкой, *б* – без нее; 1 – песчано-гравийная смесь толщиной  $h_3$ ; 2 – прослойка из сукна или сетки толщиной  $h_2$ ; 3 – уплотненное грунтовое основание с модулем упругости  $E_1$

Данные полевых испытаний дорожных конструкций с прослойками ОСС и без них приведены в таблице.

На основании данных таблицы установлено, что фактический общий модуль упругости дорожной одежды с прослойкой отработанного сукна увеличивается на 18...60 %, что подтверждает исследования Уи. Лоя [7], а сетки – на 7...14 % по сравнению с дорожной конструкцией без прослойки.

При применении прослойки необходимо знать работает ли дорожная конструкция в стадии упругих деформаций. Для этого был выполнен расчет дорожной одежды методом теории упругости с применением решений

**Результаты определения упругого прогиба дорожных конструкций**

Прослойка	$i - i_0^*$ , мм	Упругая осадка, мм	Фактический общий модуль упругости дорожной одежды, МПа
Сетка № 28	0,28	0,56	296
Сетка № 30	0,30	0,60	277
Сукно SEAMEXX	0,25	0,50	332
« LR 730	0,27	0,54	307
« HYDRO PRO	0,20	0,40	415
« TEMSEAM 9604	0,20	0,40	415
« ECOMAX 2834	0,23	0,46	361
« CAPILLAPIS	0,23	0,46	361
Без прослойки	0,32	0,64	259

\* Разница отсчетов по индикатору.

Р.М. Раппопорт [5] и К.К. Туроверова [6]. Для определения упругой осадки использовалось выражение

$$\omega_i = \frac{(1+\mu)p\beta H}{E} \int_0^{\infty} \frac{F(\alpha, \eta, \mu, E)}{\alpha} I_0(\alpha\rho) I_1(\alpha\beta) d\alpha,$$

где  $\omega_i$  – осадки в  $i$ -м слое, м;  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона;  
 $p$  – давление от колеса на поверхность покрытия, МПа;  
 $\beta = \frac{D}{2H}$ ;  
 $D$  – диаметр отпечатка колеса, м;  
 $H$  – общая толщина всех слоев, м;  
 $E$  – модуль упругости;  
 $F$  – функция, зависящая от  $\alpha, \eta, \mu, E$ ;  
 $\alpha$  – параметр интегрирования;  
 $\eta$  – расположение слоя в конструкции, в котором определяются осадки,  $\eta = \frac{z}{H}$ ;  
 $r, z$  – координаты, м;  
 $I_0(\alpha\rho)$  и  $I_1(\alpha\beta)$  – функции Бесселя нулевого и первого порядков, первого рода;  
 $\rho = \frac{r}{H}$ .

Зная толщину всех конструктивных слоев дорожной одежды, по развернутым выражениям вычисляли осадки  $\omega_i$  в каждом слое дорожной конструкции численным интегрированием. Функцию  $F$  находили из граничных условий на поверхности.

Производя расчеты осадок для дорожной конструкции без прослойки по зависимостям Р.М. Раппопорт и К.К. Туроверова, получаем:

осадка верхнего слоя покрытия  $\omega_2 = 1,0$  мм;

осадка верхнего слоя грунтового основания  $\omega_1 = 0,6$  мм.

Вычисленные осадки для дорожной конструкции без прослойки ОСС сопоставимы с данными, полученными опытным путем (см. таблицу).

Выполнен сравнительный анализ полученных значений осадок по зависимостям проф. М.Б. Корсунского [1]. При выводе формул проф. М.Б. Корсунским было принято, что при  $z = 0$  смещения основания и верхнего слоя совпадают и на поверхности контакта основания и верхнего слоя отсутствует трение; при  $z = \infty$  горизонтальные и вертикальные смещения отсутствуют, т.е. здесь не учитывается собственная вертикальная деформация верхнего слоя и влияние касательных напряжений на поверхности контакта верхнего слоя и полупространства.

Для дорожной конструкции, работающей в стадии упругих деформаций, осадки можно вычислить по зависимостям проф. М.Б. Корсунского.

По теории проф. М.Б. Корсунского вертикальные смещения

$$\omega_r = \omega_1 \left[ \frac{1}{1 + \frac{1}{\pi} \left( n \operatorname{arctg} \frac{D}{h_3} \right)^2} + 0,05n \operatorname{arctg} \frac{D}{h_3} \right];$$

$$h_3 = 1,1h \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}},$$

где  $\omega_r$  – вертикальное смещение основания покрытия, мм;

$\omega_1$  – вертикальное смещение по оси нагрузки, мм;

$n$  – расстояние от оси действующей нагрузки, выраженное в долях от

радиуса загруженного круга,  $n = \frac{r}{R}$ ;

$h_3$  – толщина эквивалентного слоя, м.

При  $\frac{h_3}{D} < 0,5$  вертикальное смещение по оси нагрузки, что имеет место в нашем случае, определяется по формуле

$$\omega_1 = \frac{2qR}{E_1} \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{h_3}{D} \right)^2 \right];$$

при  $\frac{h_3}{D} \geq 0,5$

$$\omega_1 = \frac{2qR}{E_1} \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h_3}{D} \right],$$

где  $q$  – интенсивность равномерно распределенной нагрузки по площади круга радиуса  $R$ .

Производя расчеты осадок для дорожной конструкции без прослойки по зависимостям проф. М.Б. Корсунского, получаем вертикальное смещение по оси нагрузки – осадку верхнего слоя грунтового основания  $\omega_1 = 0,9$  мм.

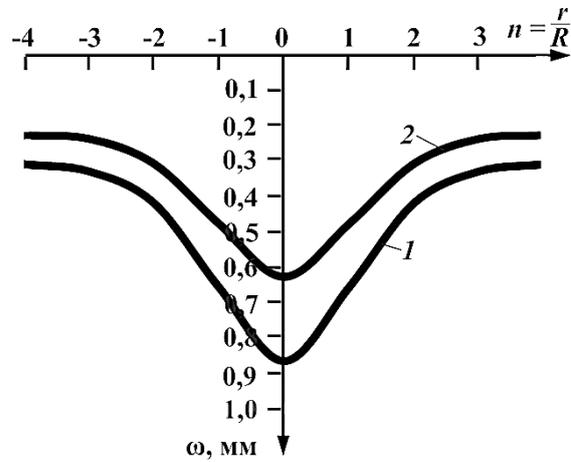
Данный приближенный метод определения вертикальных смещений дорожной одежды представлен в виде простых и доступных для практического использования формул.

На рис. 2 приведены графики зависимости осадки грунтового основания  $\omega$  (мм) от  $n = \frac{r}{R}$ .

Здесь  $r$  – расстояние от точки приложения сосредоточенной силы до рассматриваемой точки, м;

$R$  – радиус круга, по площади которого распределена равномерная нагрузка, м.

Рис. 2. График зависимости осадки  $\omega$  от  $n = \frac{r}{R}$ : 1 – дорожная одежда без прослойки; 2 – с прослойкой сукна SEAMEXX



Осадки вычислены для точек, находящихся на различных расстояниях от оси действующей нагрузки:  $r = R$ ;  $r = 2R$ ;  $r = 3R$ ;  $r = 4R$ . Каждая кривая на рис. 2 характеризует систему, обладающую определенным значением показателя  $\frac{h_2}{D}$ .

Таким образом, использование отработанных сукон и сеток целлюлозно-бумажного производства в дорожных конструкциях значительно повышает прочность и работоспособность лесовозных дорог. Это открывает возможность применения на вывозке автопоездов повышенной грузоподъемности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корсунский М.Б. Приближенный метод определения вертикальных смещений дорожной одежды и распределения давлений на подстилающий грунт в условиях пространственной задачи // Исследование прочности дорожных одежд: сб. науч. тр. / Госуд. всесоюз. дорож. НИИ «Союздорнии». М.: Автотрансиздат, 1959. С. 261–299.
2. ОДН 218.1.052–2002. Оценка прочности жестких дорожных одежд (взамен ВСН 52-89). М.: Минтранс РФ, 2002. 54 с.
3. Оруджова О.Н. Динамика развития сети лесовозных автомобильных дорог // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 52–55. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Павлов А.Ф., Павлов Ф.А. Лесовозные усы с глубоким дренированием земляного полотна // Лесн. журн. 2009. № 3. С. 73–78. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Раппопорт Р.М. Задача Буссинеска для слоистого упругого полупространства // Науч. тр. ЛПИ. 1948. № 5. С. 19–30.
6. Туроверов К.К. К вопросу исследования напряженного и деформированного состояния упругого слоистого полупространства // Науч. тр. ЛТА. 1962. № 94. С. 87–101.
7. Loy W. Geotextilien – Einsatz textile Flacken im Erd – Wasser – und Strabenbau // Text – Prax. 1983. N 3. P. 209–211.

Поступила 18.05.11

*O.N. Orudzhova*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Influence of Flexible Geotextile Layers on the Strength of Road Structure**

The paper presents the method and results of rebound deflection tests for road structures with flexible geotextile layers.

*Keywords:* wood tracks, flexible geotextile layer, worked-out cloth and mesh (waste products of pulp and paper industry), strength, deflection, modulus of elasticity.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053:621.93

*М.А. Хвиюзов, А.Н. Галашев*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Хвиюзов Михаил Андреевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры электротехники и энергетических систем Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 10 печатных работ в области технологии лесопромышленного производства.  
E-mail: mik5512@yandex.ru



Галашев Александр Николаевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического образования и дизайна Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 40 печатных работ в области технологии лесопромышленного производства.  
E-mail: galashev@list.ru



### РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ПИЛЬНОГО ДИСКА ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Предложен упрощенный метод расчета температуры периферийной зоны диска пилы в зависимости от площади пятна сканирования пирометра и средней температуры.

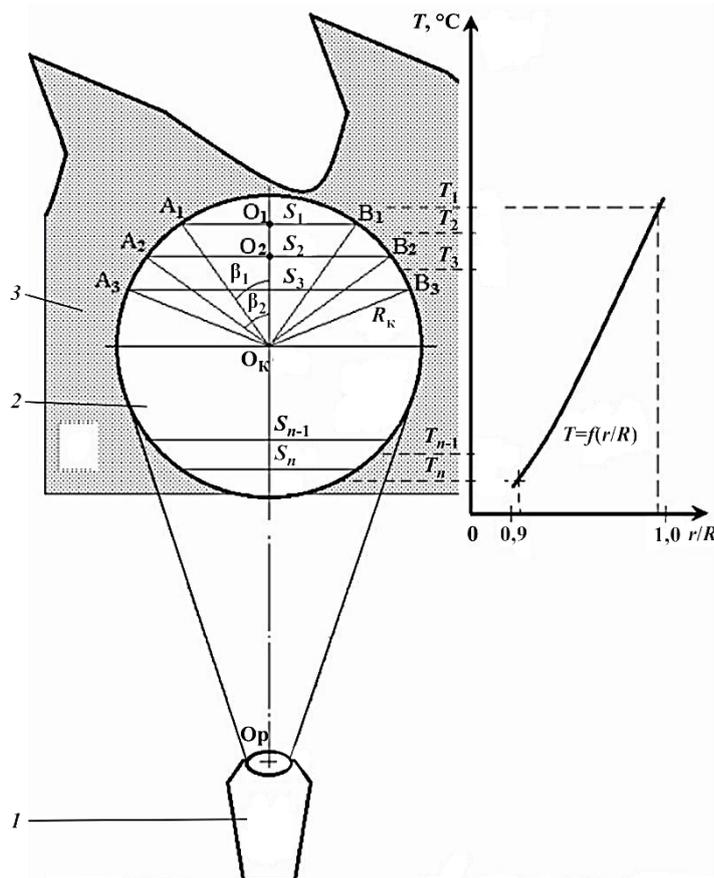
*Ключевые слова:* температурный контроль, диск пилы, низкотемпературный пирометр, режущий инструмент, зона нагрева.

Выполнение температурного контроля поверхности дереворежущего инструмента во время работы при помощи современных инфракрасных термометров (низкотемпературных пирометров) неразрывно связано с учетом двух групп особенностей пирометрического метода измерения [2]. Первая группа определяется устройством и характером нагрева режущего инструмента, вторая группа обусловлена принципом действия средства измерения.

В качестве объекта контроля была принята круглая плоская пила для продольной распиловки, так как по результатам ранее проведенных исследований [3, 4] была установлена существенная зависимость ее работоспособно-

сти от температуры на различных участках поверхности. Кроме того, установлено, что зона нагрева при установившемся процессе пиления располагается осесимметрично с максимальным значением температуры на периферии пильного диска (условие положительного температурного перепада).

Основными показателями инфракрасного термометра, которые влияют на результат измерения, являются разрешение (показатель визирования) и средняя температура на площади пятна сканирования. Форма и размеры пятна сканирования зависят от расположения излучателя пирометра относительно плоскости пильного диска. При условии расположения оси луча сканирования по нормали к плоскости пильного диска пятно сканирования представляет собой круг, диаметр которого определяется разрешением пирометра (см. рисунок).



Расчетная схема определения температуры в пятне сканирования:  
1 – излучатель пирометра; 2 – пятно контроля; 3 – пильный диск

Зная среднее значение температуры по площади сканирования, с учетом коэффициента теплового излучения пыльного диска, теоретически можно определить температуру кольца, прилегающего к окружности межзубовых впадин пилы. Для этого следует в соответствии с расчетной схемой провести фрагментацию пятна сканирования на  $n$  равных по ширине частей.

Представим среднее значение температуры, показываемой пирометром, в виде

$$T_{\text{cp}} = \frac{T_1 S_1 + T_2 S_2 + T_3 S_3 + \dots + T_{n-1} S_{n-1} + T_n S_n}{S} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i S_i}{S}, \quad (1)$$

где  $T_i$  и  $S_i$  – температура и площадь  $i$ -го фрагмента;  
 $S$  – общая площадь пятна сканирования,

$$S = \pi R_k^2; \quad (2)$$

$R_k$  – радиус пятна сканирования,

$$R_k = \frac{|O_k O_p|}{2\nu}; \quad (3)$$

$\nu$  – разрешение пирометра.

Общая площадь фрагментов равна площади пятна сканирования, следовательно,

$$T_{\text{cp}} = \frac{T_1 k_1 S + T_2 k_2 S + T_3 k_3 S + \dots + T_{n-1} k_{n-1} S + T_n k_n S}{S}$$

или

$$T_{\text{cp}} = T_1 k_1 + T_2 k_2 + \dots + T_n k_n = \sum_{i=1}^n T_i k_i, \quad (4)$$

где  $k_i$  – доля площади  $i$ -го фрагмента,

$$k_i = \frac{S_i}{S}.$$

Площадь сегмента  $O_1 A_1 B_1$ :

$$S_1 = S_{O_1 A_1 B_1} = \frac{1}{2} R_k^2 \left( \frac{2\pi\beta_1}{180^\circ} - \sin 2\beta_1 \right).$$

Центральный угол можно определить из следующих соотношений:

$$\cos \beta_1 = \frac{|O_k O_1|}{R_k}; \quad |O_k O_1| = R_k - \Delta R; \quad \Delta R = \frac{2R_k}{n}; \quad \beta_1 = \cos^{-1} \left( \frac{R_k - \Delta R}{R_k} \right).$$

Площадь фрагмента сегмента  $O_2 A_2 A_1 B_1 B_2$ :

$$S_2 = S_{O_2 A_2 B_2} - S_1 = \frac{1}{2} R_k^2 \left( \frac{2\pi\beta_2}{180^\circ} - \sin 2\beta_2 \right) - S_1;$$

$$\cos\beta_2 = \frac{|O_k O_2|}{R_k}; \quad |O_k O_2| = R_k - 2\Delta R; \quad \beta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{R_k - 2\Delta R}{R_k}\right).$$

$$S_i = \frac{1}{2} R_k^2 \left( \frac{2\pi\beta_i}{180^\circ} - \sin 2\beta_i \right) - (S_1 + S_2 + \dots + S_{(i-1)}); \quad (5)$$

$$\beta_i = \cos^{-1}\left(\frac{R_k - i\Delta R}{R_k}\right). \quad (6)$$

Необходимо отметить, что при четном  $n$  решение упрощается, так как

$$k_1 = k_n; k_2 = k_{n-1}; k_{n/2} = k_{n/2+1}. \quad (7)$$

Перед определением теоретической температуры поверхности различных фрагментов пятна сканирования следует пояснить два обстоятельства. Во-первых, так как угловая скорость вращения пильного диска намного превышает время отклика пирометра, то логично было бы предположить, что измеряется температура кольца шириной  $2R_k$ , которое в свою очередь должно рассматриваться в виде совокупности условных изотермических концентрических кольцевых поверхностей.

Во-вторых, характер изменения температуры по радиусу диска в пределах текущего радиуса ( $r = 0,9 \dots 1,0$ ) достаточно просто и точно отражается линейной зависимостью [1, 3]

$$T_i = T_{i+1} + \Delta T. \quad (8)$$

Тогда формула (4) принимает вид

$$T_{cp} = T_1 k_1 + (T_1 - \Delta T) k_2 + (T_1 - 2\Delta T) k_3 + \dots + (T_1 - (i-1)\Delta T) k_i + \dots + (T_1 - (n-1)\Delta T) k_n. \quad (9)$$

Температура кольца шириной  $\Delta R$ , примыкающего к окружности межзубовых впадин,

$$T_1 = T_{cp} + \Delta T \left( \sum_{i=2}^n (i-1) k_i \right); \quad (10)$$

температура поверхности любого  $i$ -го из остальных колец в пятне сканирования

$$T_i = T_1 + (i-1) \Delta T; \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (11)$$

Допустим, что пирометрический контроль осуществляется датчиком с разрешением 8/1, закрепленным на удалении 80 мм от корпуса круглой пилы (длина отрезка  $O_k O_p$ ). Радиус пятна сканирования  $R_k = 5$  мм. Диаметр пилы 400 мм, высота зуба 20 мм, следовательно, радиус окружности межзубовых впадин  $R = 180$  мм, текущий радиус  $r = 170 \dots 180$  мм. В определенный момент пирометр показывает среднюю температуру в пятне сканирования, с учетом коэффициента теплового излучения она составляет 80 °С.

При условии фрагментации  $n = 10$ ,  $\Delta R = 1$  мм. Функция изменения температуры в зависимости от  $r/R$  была установлена на основании исследований [1],

что позволило принять  $\Delta T = 2,6$  °С. Значения площадей, долей и температуры фрагментов сегментов, рассчитанные разработанным методом, представлены в таблице.

Номер фрагмента	Площадь $S_i$ , мм <sup>2</sup>	Доля от площади сканирования $k_i$	Температура, °С
1	4,087053	0,052040	+91,7
2	7,094643	0,090334	+89,1
3	8,634284	0,109938	+86,5
4	9,519990	0,121216	+83,9
5	9,933929	0,126472	+81,3
6	9,933929	0,126472	+78,7
7	9,519990	0,121216	+76,1
8	8,634284	0,109938	+73,5
9	7,094643	0,090334	+70,9
10	4,087053	0,052040	+68,3

Следует отметить, что данный метод расчета температуры в пятне сканирования пирометра является упрощенным, так как в нем принята плоскопараллельная схема фрагментов сегментов, а площади равноотстоящих от продольной оси фрагментов равны по условию (7). На самом деле границы между фрагментами представляют собой окружности, следовательно, доли от площади  $k_i$  несколько (до 1,5 %) отличаются от принятых в расчете.

Разработанный метод определения температуры нагрева режущего инструмента при помощи средств пирометрии может быть использован в исследованиях теплофизических процессов, происходящих при резании древесины, прогнозировании работоспособности пил, создании автоматизированных устройств контроля и управления деревообрабатывающего оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А. В. Анализ влияния размера конечного элемента на точность расчета теплового поля диска круглой пилы // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф. Вологда: ВоГТУ, 2009. С. 160–164.
2. Грубе А.Э., Санев В.И., Пашков В.К. К вопросу о температурном поле дисков пил для продольной распиловки древесины // Лесн. журн. 1966. № 3. С. 92–104. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Пашков В.К., Щепочкин С.В. О тепловом балансе процесса резания древесины круглыми пилами // Лесн. журн. 2009. № 3. С. 101–107. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Санев В.И. Обработка древесины круглыми пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 232 с.

Поступила 04.05.12

*M.A. Khviyuzov, A.N. Galashev*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Calculation of Heat Temperature of the Saw Blade Surface under Pyrometric Control**

A simplified method for calculating the temperature of the saw blade peripheral zone depending on the spot area scanned by the pyrometer and the average temperature.

*Keywords:* temperature control, saw blade, low temperature pyrometer, cutting tool, heating zone.



УДК 624.072.2.011.1

**А.В. Турков, К.В. Марфин**

Госунiversитет – Учебно-научно-производственный комплекс (г. Орел)

Турков Андрей Викторович родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Таджикский политехнический институт, доктор технических наук, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства Госуниверситета – УНПК. Имеет около 100 научных и научно-методических трудов по проблемам конструирования и расчета пространственных и составных деревянных конструкций.  
E-mail: antur@orel.ru



Марфин Кирилл Васильевич родился в 1988 г., окончил в 2011 г. Госуниверситет – УНПК, ассистент кафедры строительных конструкций и материалов Госуниверситета – УНПК. Имеет 4 научных труда по проблемам расчета составных пластин.  
E-mail: marfinkirill@yandex.ru



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБОВ И ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВНЫХ КРУГЛЫХ ТРАНСТРОПНЫХ ПЛАСТИН**

Рассмотрена взаимосвязь основной частоты свободных поперечных колебаний двухслойной изотропной пластины в ненагруженном состоянии и ее максимальных прогибов при действии равномерно распределенной нагрузки в зависимости от граничных условий слоев, количества жестких блоков и связей сдвига. Показано, что для составных пластин круглого очертания с различными граничными условиями слоев коэффициент  $K$  при жестком защемлении по контуру совпадает с аналитическим значением с точностью до 2,79 %, при шарнирном опирании – до 5,85 %.

*Ключевые слова:* составная пластина, связи сдвига, поперечные связи, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

В современном строительстве немалую роль играет не только качество новой продукции, но и оценка несущей способности и жесткости уже существующих конструкций. В последнее десятилетие интенсивно стали развиваться динамические методы диагностики и оценки качества строительных конструкций. Это связано с обнаружением проф. В.И. Коробко фундаментальных закономерностей, в основе которых лежат строгие функциональные взаимосвязи между интегральными физическими параметрами строительных конструкций, в частности между максимальным прогибом нагруженных конструкций в виде балок и пластин и их основной частотой колебаний в ненагруженном состоянии. Однако для составных пластин, в отличие от изотропных

пластин цельного сечения, эта закономерность еще не подтверждена. Решение данной проблемы имеет не только научное, но и практическое значение.

В.И. Коробко [1] вывел фундаментальную зависимость для изотропных пластин постоянного сечения, которая формулируется следующим образом: вне зависимости от граничных условий произведение максимального прогиба  $W_0$  от действия равномерно распределенной нагрузки  $q$  на квадрат основной частоты колебаний пластины в ненагруженном состоянии  $\omega$  с точностью до размерного множителя  $q/m$  есть величина постоянная:

$$W_0 \omega^2 = K \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент, аналитическое значение которого для круглых шарнирно опертых по контуру пластин составляет 1,579, при жестком опирании – 1,629 [1];

$m$  – равномерно распределенная по площади масса пластины.

В работе [2] выведены основные уравнения для составных стержней и пластин с упругоподатливыми поперечными связями и связями сдвига. Чтобы подтвердить закономерность (1) для составных пластин, были проведены численные исследования круглой составной двухслойной пластины при различном количестве поперечных связей и связях сдвига.

В данной статье рассмотрены круглые изотропные двухслойные пластины из композиционного материала на основе древесины с податливыми поперечными связями и связями сдвига между слоями. Изучена достоверность зависимости (1) при различном количестве связей сдвига и поперечных связей при их равномерной расстановке по поверхности пластины. Критерием точности полученных результатов будем считать аналитически полученное значение коэффициента  $K$ .

В качестве расчетной принята 24-угольная пластина, которая аппроксимировала круг радиусом 500 мм. Радиальные и концентрические линии разбивали каждый слой составной пластины на 288 конечных элементов (КЭ). Количество радиальных линий было взято исходя из удобства симметричной расстановки связей сдвига, так как количество КЭ слоев несущественно влияет на точность расчета [3]. В расчетной схеме КЭ слоев были локально соединены поперечными связями и связями сдвига в жесткий блок (ЖБ), изображенный на рис. 1.

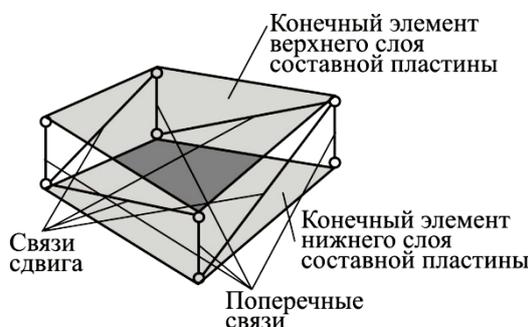


Рис. 1. Соединение конечных элементов верхнего и нижнего слоев составной пластины поперечными связями и связями сдвига в жесткий блок

Жесткие блоки в составной пластине были расставлены локально в соответствии со схемами, приведенными на рис. 2.

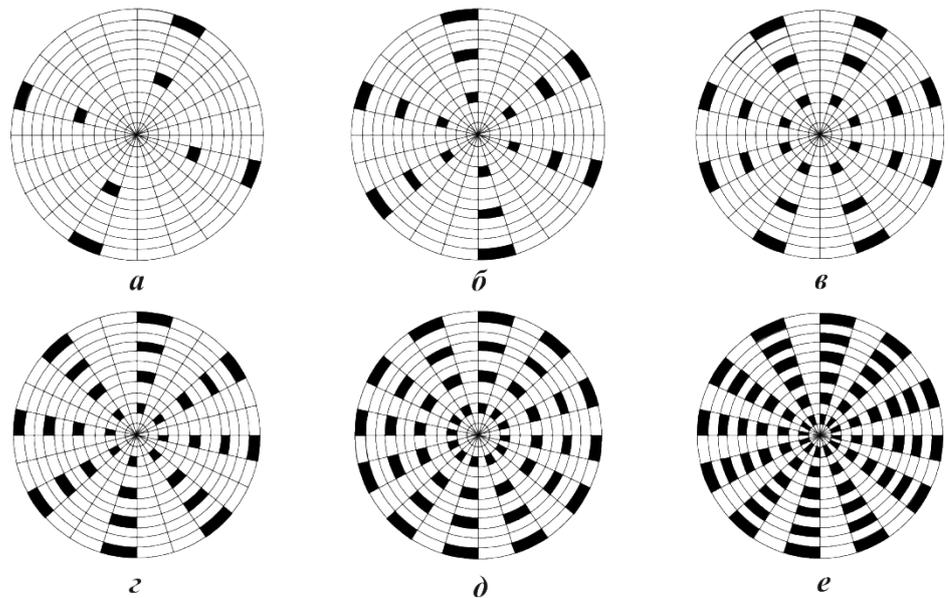


Рис. 2. Схема расстановки жестких блоков в круглых пластинах: *a* – 8 блоков ( $n_{жб}/n_{кэ} = 0,028$ ); *б* – 18 блоков ( $n_{жб}/n_{кэ} = 0,063$ ); *в* – 24 блока ( $n_{жб}/n_{кэ} = 0,083$ ); *г* – 32 блока ( $n_{жб}/n_{кэ} = 0,111$ ); *д* – 48 блоков ( $n_{жб}/n_{кэ} = 0,167$ ); *е* – 72 блока ( $n_{жб}/n_{кэ} = 0,250$ )

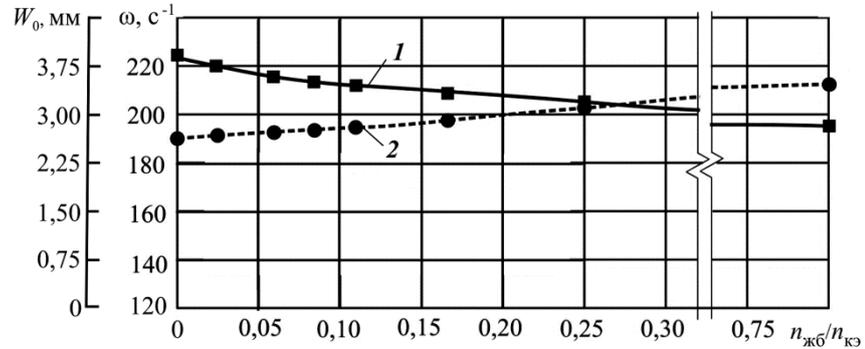
На основании анализа данных [3] жесткость связей сдвига была принята постоянной – 10 кН; жесткость поперечных связей – 512 кН, что соответствует стальному нагелю диаметром 2 мм. Опоры по контуру составной плиты расположены в узлах КЭ слоев, при этом их граничные условия одинаковые.

Слои составной пластины из древесно-стружечной плиты приняты постоянного сечения. Все характеристики слоев взяты из паспорта изделия: толщина 8 мм, средняя плотность 7,40 кН/м<sup>3</sup>, модуль упругости при изгибе 26 МПа. Для динамического расчета массы в узлах слои собирали в соответствии с объемным весом и грузовой площадью узла. При статическом расчете к верхнему слою прикладывали равномерно распределенную нагрузку интенсивностью 1 кН/м<sup>2</sup>. Исследования проводили методом конечных элементов. Расстояние между слоями принимали равным расстоянию между центрами тяжести слоев. Результаты расчета жестко защемленной и шарнирно опертой

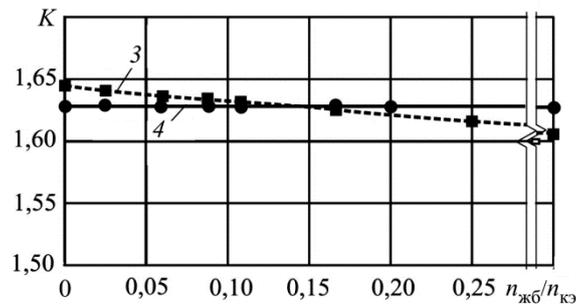
по контуру пластин приведены в таблице. По данным таблицы построены графики изменения прогибов, частот колебаний и коэффициента  $K$  в зависимости от количества жестких блоков (рис. 3, 4).

**Результаты численных исследований составной круглой пластины радиусом  $r = 500$  мм**

Количество жестких блоков	Круговая частота основного тона $\omega, c^{-1}$	Максимальный прогиб $W_0, мм$	Коэффициент		Отклонение, %, $K_{факт}$ от $K_{аналит}$
			фактический $K_{факт} = \frac{W_0 \omega^2}{(q/m)}$	аналитический $K_{аналит}$	
Жесткое защемление по контуру					
0	189,16890	3,810869	1,645910	1,629	1,691040
8	190,81740	3,740205	1,643668		1,466780
18	192,93620	3,647291	1,638629		0,962867
24	194,14920	3,596789	1,636322		0,732236
32	195,77930	3,529733	1,632894		0,389437
48	198,85300	3,409411	1,627145		-0,185470
72	203,27240	3,247072	1,619315		-0,968460
288	214,77820	2,875691	1,601052		-2,794850
Шарнирное опирание по контуру					
0	89,06610	16,275250	1,558243	1,579	-2,075680
8	92,08064	15,206590	1,556149		-2,285100
18	94,97614	14,256730	1,552143		-2,685730
24	96,80996	13,705530	1,550310		-2,868980
32	98,57993	13,191400	1,547215		-3,178530
48	102,71170	12,115450	1,542631		-3,636890
72	107,19960	11,071300	1,535563		-4,343700
288	118,20920	9,015350	1,520435		-5,856510



*a*



*б*

Рис. 3. Изменение частот собственных колебаний  $\omega$  и прогибов  $W_0$  (*a*), а также коэффициентов  $K_{факт}$  и  $K_{аналит}$  (*б*) в зависимости от количества жестких блоков  $n_{жб}$  при жестком защемлении составной пластины по контуру: 1 –  $W_0$ , 2 –  $\omega$ , 3 –  $K_{факт}$ , 4 –  $K_{аналит}$

Отклонение полученного на основании расчета коэффициента  $K_{факт}$  от  $K_{аналит}$  определяли по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{K_{аналит} - K_{факт}}{K_{аналит}} 100 \% .$$

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что независимо от количества симметрично расположенных жестких блоков в двухслойной составной пластине фундаментальная зависимость (1) выполняется.

#### Выводы

1. В результате численного исследования составных изотропных пластин на податливых связях была подтверждена закономерность (1) при разном количестве симметрично расположенных жестких блоков, а значит, и связей сдвига.

2. Результаты исследования показали хорошее совпадение коэффициента  $K$ . Для круглых пластин расхождение составило от 2,79 % при жестком заземлении пластины по контуру и до 5,85 % при шарнирном опирании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко В.И. Об одной "замечательной" закономерности в теории упругих пластинок // Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 32–36.
2. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 316 с.
3. Турков А.В., Марфин К.В. Прогобы и частоты собственных колебаний составных круглых изотропных пластин с различными граничными условиями при изменении жесткости связей сдвига // Строительство и реконструкция. 2011. № 5. С. 51–55.

Поступила 03.05.12

*A.V. Turkov, K.V. Marfin*

State University – Education-Science-Production Complex, Orel.

#### **Study of Deflection and Natural Vibration Frequencies of Composite Circular Transropic Plates**

The paper considers the relation between the fundamental frequency of free transverse vibrations of a two-layer isotropic plate in the state of no-load and their maximum deflection on exposure to uniform load, depending on the boundary conditions of the layers and the number of hard blocks and, thus, shear bonds. It is shown that for composite round-shaped plates with different boundary conditions of layers,  $K$  factor coincides with the analytical value up to 2.79% at rigid fixing of the plate along a contour to 5.85% at hinge support.

*Keywords:* composite plate, shear bonds, transverse connection, natural vibration frequencies, maximum deflection.

УДК 338.32.053.4 : 674.093.6-413.82

**С.В. Ершов**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Ершов Сергей Викторович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 печатных работ в области лесопильного оборудования и инструмента, технологии лесопиления, инновационной деятельности.  
E-mail: svershov@gmail.com



### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ РАЗМЕРНЫХ ДИАПАЗОНОВ РАСПИЛИВАЕМОГО СЫРЬЯ ПРИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Предложен метод расчета, основанный на применении линейного программирования и позволяющий определить наиболее эффективные диапазоны размеров распиливаемого сырья для различного лесопильного оборудования.

*Ключевые слова:* производительность, выход пиломатериалов, целевая функция, эксплуатационные затраты, капитальные затраты, экономический эффект.

При строительстве новых и модернизации действующих лесопильных предприятий встает вопрос о выборе типа лесопильного оборудования [1, 2]. Сегодня рынок предлагает большое количество оборудования различных типов (агрегатное, рамное, круглопильное, ленточнопильное) и назначений для малого и крупного производства. Оно различается по стоимости, характеристикам, эксплуатационным затратам и сроку службы. Каждый из видов оборудования имеет свои преимущества и недостатки, которые проявляются в определенных условиях. Ленточнопильные станки обеспечивают высокий выход пиломатериалов при распиловке крупного леса, позволяют индивидуально подходить к раскрою каждого бревна, но не имеют достаточной производительности. Агрегатные станки, наоборот, обеспечивают высокую производительность, но не гарантируют высокого выхода пиломатериалов при распиловке крупного сырья. Кроме того, выбор эффективного оборудования зависит от распределения распиливаемого сырья по размерным группам, определяемым районом его произрастания.

Использование единицы оборудования одного вида влияет на эффективность использования остального оснащения. Например, применение агрегатного станка только для мелкого сырья повышает эффективность работы лесопильной рамы, так как на ней перерабатывается более крупное сырье.

Таким образом, при рассмотрении каждой единицы оборудования в отдельности не удастся определить эффективный диапазон размеров распиливаемого сырья. Необходимо совместное рассмотрение сразу всего используемого предприятием оборудования.

Ответ на вопрос о границах размерных диапазонов пиловочника, соответствующих эффективному применению лесопильного оборудования различных типов, не могут дать только технологические расчеты (производительность, выход пиломатериалов), так как они не учитывают соотношение затрат и результата. Ответ следует искать в экономическом эффекте. Причем любой тип оборудования в определенных условиях может оказаться самым эффективным. Основным ресурс, используемый лесопильным производством – пиловочное сырье, стоимость которого может составлять 50 % и более от стоимости пиломатериалов. Эффективность использования этого ресурса во многом определяет эффективность всего лесопильного производства.

Цель нашей работы – решить задачу эффективного использования экономического ресурса, используя методы линейного программирования [5, 7].

#### *Метод расчета*

Разделим распиливаемое сырье на  $n$  групп с номерами  $i = 1 \dots n$  и рассмотрим  $m$  типов оборудования с номерами  $j = 1 \dots m$ . Долю пиловочника, приходящуюся на каждую размерную группу, обозначим  $d_i$ . Должно выполняться требование  $\sum_{i=1}^n d_i = 1$ . При распиловке сырья  $i$  на оборудовании  $j$  обеспечивается выход пиломатериалов  $r_{ij}$  и годовая производительность  $P_{ij}$ .

Предположим, что каждый вид оборудования распиливает долю от каждой размерной группы  $x_{ij}$ . Таким образом,  $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1$  для каждого из значений  $i$  (знак  $\leq$  использован потому, что необязательно распиливать все сырье, если это не выгодно). Нам необходимо обеспечить такие значения  $x_{ij}$ , при которых достигается максимальный экономический эффект от использования пиловочного сырья. Это задача линейного программирования (задача о назначениях). Для ее решения необходимо составить целевую функцию и наложить на значения  $x_{ij}$  необходимые ограничения.

Целевая функция должна отражать капитальные и эксплуатационные затраты, а также доходы от продажи полученной пилопродукции. Поскольку стоимость пиломатериалов в разы превышает стоимость кусковых отходов и опилок, будем учитывать только стоимость пиломатериалов  $P_{\text{пм}}$  без стоимости доработки (сушка, торцовка, сортировка, пакетирование).

Капитальные затраты имеют разовый характер, их следует привести к виду, сопоставимому с текущими затратами (в год). Для этого подойдет эквивалентный аннуитет ( $EA$ ) [4]. При определении  $EA$  появляется возможность учесть и другие, специфические для данного вида оборудования эксплуатационные затраты (например, заработная плата персонала, электроэнергия,

приобретение и подготовка инструмента, техническое обслуживание и ремонт). Для определения  $EA$  воспользуемся следующим уравнением:

$$EA \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+k)^t} = I_0 + \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+k)^t}, \quad (1)$$

где  $C_t$  – затраты в году  $t$ , тыс. р.;

$T$  – срок службы (чаще до первого капитального ремонта), лет;

$k$  – ставка дисконтирования;

$I_0$  – капитальные затраты, связанные с приобретением и установкой оборудования, тыс. р.

При одинаковых ежегодных затратах  $C$  использование формулы для суммы геометрической прогрессии в (1) дает формулу для определения  $EA$  [3, 6]:

$$EA = \frac{C \left[ (1+k)^T - 1 \right] + I_0 k (1+k)^T}{(1+k)^{T+1} - 1}. \quad (2)$$

Тогда экономический эффект  $\mathcal{E}$  использования ресурса (партии сырья объемом  $Q$ ) может быть выражен как разница результата и затрат:

$$\mathcal{E} = \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^n \Pi_{ij} K_{ij} r_{ij} P_{\text{пм}} - EA_j \sum_{i=1}^n K_{ij} \right], \quad (3)$$

где  $K_{ij}$  – время работы оборудования  $j$ , лет, при распиловке сырья из группы  $i$ ,

$$K_{ij} = Q d_i x_{ij} / \Pi_{ij}$$

$P_{\text{пм}}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов, тыс. р.;

$Q$  – объем партии сырья, м<sup>3</sup>.

После преобразований (3) получим выражение для экономического эффекта, которое и будет целевой функцией:

$$Q \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{d_i x_{ij}}{\Pi_{ij}} \left[ \Pi_{ij} r_{ij} P_{\text{пм}} - EA_j \right] \rightarrow \max. \quad (4)$$

Максимальное значение целевой функции следует обеспечить, выбирая доли распиливаемого сырья  $x_{ij}$ . Решение следует искать при следующих ограничениях:

$x_{ij} \geq 0$  (доли распиливаемого сырья должны быть неотрицательными);

$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1$  для каждого из значений  $i$  (нельзя распилить больше чем есть, но распиливать все необязательно).

*Пример.* Надо распилить партию пиловочника объемом  $Q = 100$  тыс. м<sup>3</sup>. Распределение по 15 размерным группам (по диаметру в вершине) приведено в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение пиловочника по размерным группам**

Размерная группа сырья	Диаметр в вершине, см	Доля сырья, %	Размерная группа сырья	Диаметр в вершине, см	Доля сырья, %
1	14	5,7	9	30	4,9
2	16	10,5	10	32	3,6
3	18	14,5	11	34	2,5
4	20	14,6	12	36	1,6
5	22	13,0	13	38	1,1
6	24	11,0	14	40	0,8
7	26	9,0	15	≥ 42	0,5
8	28	6,7			

Имеется три вида оборудования (например, агрегатная линия – I, линия на базе круглопильных станков – II, линия на базе ленточнопильного станка – III), характеристика которого приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Параметры оборудования**

Параметр	I	II	III
Цена, тыс. р.	3800	4000	4200
Ежегодные затраты, тыс. р.	7500	8900	7200
Срок до капитального ремонта, лет	10	10	10
Эквивалентный аннуитет при $k = 0,18$	6827	8008	6654

Выход пиломатериалов при распиловке сырья каждой размерной группы на каждом виде оборудования и его годовая производительность по сырью приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Выход пиломатериалов и годовая производительность оборудования**

Размерная группа сырья (диаметр в вершине, см)	Выход пиломатериалов, %			Производительность, м <sup>3</sup> /год		
	I	II	III	I	II	III
1(14)	45	45	45	61000	45000	24000
2 (16)	47	47	48	63000	47000	25000
3 (18)	48	50	50	62000	48000	26000
4 (20)	48	51	52	62000	50000	26000
5 (22)	49	53	54	62000	52000	28000
6 (24)	49	54	55	61000	52000	29000
7 (26)	50	56	57	61000	53000	30000
8 (28)	51	58	60	60000	53000	32000



При допустимом неоптимальном решении, использованном в качестве начальных данных, значение целевой функции будет, конечно, неоптимальным. Оптимальное решение ищут, используя надстройку «Поиск решения», которая позволяет задать необходимые ограничения, ячейку, содержащую целевую функцию, параметр оптимизации (максимум или минимум) и метод решения (в нашем примере – симплекс-метод). Параметры поиска решения приведены на рис. 2.

Рис. 2. Форма для задания параметров поиска решения

При приведенных ранее ограничениях решение имеет следующий вид (табл. 4).

Таблица 4

**Распределение сырья по видам оборудования и время его работы**

Размерная группа сырья (диаметр в вершине, см)	Распределение сырья по видам оборудования			Время работы оборудования, лет, при распиловке 100 тыс. м <sup>3</sup>		
	I	II	III	I	II	III
1 (14)	1	0	0	0,093	0,0	0,0
2 (16)	1	0	0	0,167	0,0	0,0
3 (18)	0	1	0	0,0	0,302	0,0
4 (20)	0	1	0	0,0	0,292	0,0
5 (22)	0	1	0	0,0	0,250	0,0
6 (24)	0	1	0	0,0	0,212	0,0
7 (26)	0	1	0	0,0	0,170	0,0
8 (28)	0	0	1	0,0	0,0	0,209
9 (30)	0	0	1	0,0	0,0	0,148
10 (32)	0	0	1	0,0	0,0	0,109
11 (34)	0	0	1	0,0	0,0	0,074
12 (36)	0	0	1	0,0	0,0	0,074
13 (38)	0	0	1	0,0	0,0	0,047
14 (40)	0	0	1	0,0	0,0	0,034
15 (42)	0	0	1	0,0	0,0	0,025
			<i>Всего</i>	0,260	1,225	0,663

Полученное решение показывает, что с максимальной эффективностью данную партию сырья можно распилить, если пиловочник размерных групп 1 и 2 (14 и 16 см) пилить только на оборудовании I, с 3 по 6 (18...26 см – на оборудовании II, с 8 по 15 (28...42 см) – на оборудовании III. При этом оборудование I будет работать 0,26 года, оборудование II – 1,23 года, III – 0,66 года. Оборудование I и III будет явно недогружено. Проблему загрузки оборудования можно решить, используя несколько единиц оборудования одного типа, что приведет к увеличению производственной мощности.

*Выводы*

1. Задача выбора типов оборудования для конкретного лесопильного производства может быть решена с использованием методов линейного программирования.

2. Оптимальный выбор оборудования зависит от состава распиливаемого сырья, капитальных и эксплуатационных затрат, выхода пиломатериалов и производительности, цен на пиловочник и пиломатериалы.

3. Наиболее эффективно использовать различные типы оборудования, но это возможно только на крупных предприятиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Е., Бедердинова О.И.* Математическая модель определения производительности лесопильного потока на базе круглопильного однопильного станка // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 101–103. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Алексеева Л.В.* К определению мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка // Лесн. журн. 2002. № 5. С. 76–80. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Ершов С.В.* Использование экономических критериев для оценки целесообразности технических нововведений // Вестн. АГТУ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. Серия «Экономика». Вып. 65. С. 27–31.
4. *Идрисов А.Б., Картышев С.В., Постников А.В.* Стратегическое планирование и анализ эффективности инвестиций М.: ИИД «Филинь», 1996. 272 с.
5. *Канторович Л.В., Горстко А.Б.* Оптимальные решения в экономике. М.: Наука, 1972. 231 с.
6. *Луцки И.В., Косов В.В.* Инвестиционный проект: Методы подготовки и анализа: учеб.-справ. пособие. М.: Издательство БЕК, 1996. 304 с.
7. *Лунгу К.Н.* Линейное программирование: руководство к решению задач. М.: Физматлит, 2005. 128 с.
8. *Decision Modeling with Microsoft Excel/ Moore Jeffrey H., Weatherford Larry R.* New Jersey: Prentice Hall, 2001. 693 p.

Поступила 25.04.12

*S.V. Ershov*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Determination of Size Ranges of Saw Logs under Efficient Operation of Sawmill Equipment**

The paper suggests a calculation method based on linear programming that allows to determine the most efficient size ranges of raw materials for various types of sawmill equipment.

*Keywords:* output, lumber yield, target function, operating costs, capital costs, economic effect.

УДК 624.072.2.011

***С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина***

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Рощина Светлана Ивановна окончила в 1988 г. Владимирский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Имеет более 110 печатных работ в области испытаний и расчета армированных деревянных конструкций на длительную нагрузку и ползучесть.  
E-mail: rsi3@mail.ru



Сергеев Михаил Сергеевич родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Владимирский государственный университет, ассистент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Имеет более 20 работ в области испытаний и расчета деревянных конструкций.  
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru



Лукина Анастасия Васильевна в 2007 г. окончила Владимирский государственный университет, магистрант кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Имеет 4 работы в области исследования композитных конструкций на основе металла и древесины.  
E-mail: pismo.33@yandex.ru



## **АРМИРОВАННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

Рассмотрен вопрос исследования армированных деревянных конструкций и применения их в строительстве.

*Ключевые слова:* армированные деревянные конструкции, деформативность, прочность, длительно-действующие нагрузки.

Ускоренные темпы развития строительства в нашей стране требуют новых и совершенствования существующих конструктивных форм, которые бы отвечали требованиям экономичности и индустриализации. Необходимость и целесообразность использования деревянных конструкций, как наиболее экологичных и обладающих высокими конструктивными свойствами, позволяют расширить область их применения и повысить конкурентоспособность.

Однако отрицательные свойства древесины (зависимость ее свойств от строения, влияние пороков, ползучесть и т.д.) ограничивают область применения и требуют значительного расхода качественных пиломатериалов. Одним из способов устранения отрицательных свойств древесины является армирование деревянных конструкций (АДК).

Армирование позволяет совершенно по-новому и более эффективно компоновать узловые соединения и стыки деревянных конструкций, что повышает их сборность, облегчает транспортировку и монтаж, а также ремонт и реконструкцию действующих конструкций.

Разработка и выпуск промышленностью эффективных синтетических клеев, которые обеспечивают прочное и надежное соединение разнородных материалов, позволили подойти к созданию армированных деревянных конструкций.

Для армирования деревянных конструкций используют как обычную, так и предварительно напряженную арматуру. Первый способ нашел более широкое применение, поскольку дает положительный эффект при относительно небольших трудозатратах и капиталовложениях.

В конструкциях с предварительно напряженной арматурой деформативность снижается от 2 до 8 раз по сравнению с неармированными, прочность оказывается значительно меньше, чем у обычных армированных конструкций с таким же процентом армирования. Кроме того, предварительное напряжение арматуры создает дополнительные сдвигающие усилия в древесине, которые вместе с напряжениями, возникающими от действий внешних нагрузок, приводят к преждевременному достижению предельных значений сдвигающих усилий в древесине приопорной зоны, а в дальнейшем и к разрушению от действия поперечных сил.

Первые исследования в нашей стране были выполнены В.Ю. Щуко в 60-х гг. XX в. Они позволили выявить основные свойства композитных конструкций, разработать методы их расчета и технологию изготовления АДК [9–11].

В результате экспериментально-теоретических исследований АДК было определено рациональное размещение арматуры по траекториям главных растягивающих деформаций, обеспечивающее прочность приопорных сечений на действие сдвигающих усилий. Арматуру растянутой зоны размещали по линиям главных растягивающих деформаций путем отгиба стержней в приопорных участках в сторону сжатой зоны [4]. Прочность балок с рациональным размещением арматуры увеличивается по сравнению с традиционным способом армирования на 12...15 % за счет усиления опорных зон, деформативность снижается на 8...10 % за счет анкеровки растянутой арматуры отгибом в приопорных участках.

Были проведены многочисленные исследования сжато-изгибаемых и изгибаемых конструкций на моделях и натуральных образцах, что позволило сделать вывод о высокой эффективности АДК.

Обозначение балки	Пролет, м	Испытательная нагрузка, кН/м	Продолжительность испытаний, сут	Относительные деформации*				Прогитб, мм		$K_t = f_t/f_0$	$\varphi_t = (f_t - f_0)/f_0$	Остаточные прогибы, мм
				Древесина		Арматура		$f_0$	$f_t$			
				$\varepsilon^D/\varepsilon^C$	$\varepsilon^D/\varepsilon^T$	$\varepsilon^{sp}/\varepsilon^{st}$	$\varepsilon^{sp}/\varepsilon^{st}$					
Б-6-1-2	6	3,6	367	0,92/1,16	1,11/1,27	-	-	23,0	30,16	0,762	0,311	3,76
Б-6-3-4	6	9,7	367	1,12/1,29	1,19/1,31	-	-	22,54	28,80	0,783	0,277	4,98
				0,95/1,15	0,98/1,18	1,10/1,19	1,07/1,17	22,40	26,05	0,860	0,163	2,05
Б-12-1-2	12	9,9	270	0,97/1,10	1,04/1,22	1,02/1,21	1,06/1,25	25,05	28,82	0,869	0,151	2,70
				1,06/1,30	1,11/1,35	1,08/1,25	1,13/1,32	45,20	51,9	0,870	0,148	2,45
Б-18-1-2	18	8,9	181	1,15/1,39	1,17/1,41	1,12/1,31	1,18/1,38	46,25	55,4	0,835	0,197	3,60
				0,95/1,21	1,08/1,26	1,01/1,19	1,10/1,26	64,87	77,2	0,840	0,184	-
				1,05/1,29	1,12/1,34	1,03/1,18	1,09/1,30	68,75	80,95	0,849	0,174	-

\* Необходимо умножить на 10<sup>-3</sup>.

Установлено, что АДК имеют несущую способность в 1,5...3,5 раза больше, чем аналогичные неармированные конструкции. Экономический эффект от замены обычных конструкций на армированные достигается за счет снижения расхода древесины на 30...40 %, монтажного веса на 12...20 %, приведенных затрат на 4...8 % [8].

Чтобы в полной мере оценить эксплуатационную пригодность и особенности напряженно-деформированного состояния АДК, для внедрения АДК в практику строительства необходимо было исследовать их работу при длительном действии нагрузки [1, 2]. Исследования проводились на моделях и натуральных образцах балок и арок.

Основные результаты испытаний балок пролетом 6, 12 и 18 м длительно действующей нагрузкой приведены в таблице.

Исследования показали, что прочность элементов АДК подчинена общим временным закономерностям изменения прочности древесины при длительном действии нагрузки. В ходе испытаний конструкций длительно действующей нагрузкой в диапазоне 0,35...0,65 от предела временной прочности определены две области затухающей и незатухающей ползучести [5-7].

Нагрузка, разделяющая эти области, характеризует предел длительной прочности, который по экспериментальным данным составляет 0,5...0,7 предела временной прочности.

При разрушении АДК арматура сохраняет сцепление с древесиной по всей длине, что позволяет конструкциям длительное время выдерживать нагрузку до 0,5...0,7 от разрушающей за счет поддерживающего влияния арматуры и деревянной неразрушенной части сечения.

Изучение напряженно-деформированного состояния АДК при кратковременных и длительных нагрузках потребовало разработки методов расчета таких конструкций с учетом особенностей их напряженно-деформированного состояния, разнородности материалов в комплексной конструкции, ползучести древесины и клея и т.д.

В армированных деревянных конструкциях, состоящих из различных по строению и составу материалов, при длительном действии нагрузки происходит процесс перераспределения усилий, который необходимо учитывать при их расчете. Из-за различной степени ползучести материалов АДК со временем происходит перераспределение усилий между арматурой и древесиной, в результате чего нормальные напряжения в арматуре могут значительно возрастать, а в древесине, соответственно, уменьшаться. Подобное перераспределение усилий – фактор положительный, так как при эксплуатации АДК происходит догружение более однородного (изотропного) материала (арматуры) и разгрузка анизотропного материала (древесины).

Экспериментальные исследования показали, что характер предшествующего нагружения оказывает значительное влияние на все последующие деформации. Установлено, что с достаточной точностью изменение деформативности древесины под нагрузкой во времени может быть оценено как линейная ползучесть, а саму древесину можно рассматривать как упруго-вязкий материал.

К новым разработкам в области АДК относится деревянная балка, армированная внешним армированием и наклонно вклеенными стержнями [3]. Основными элементами таких балок являются древесина и стальной прокат в виде швеллера и арматурных стержней. Сечение исследуемых балок составляет 100×240 мм. Швеллер устанавливается либо в верхней (сжатой), либо в нижней (растянутой) зоне балки, номер проката выбирается по ширине сечения балки (№ 12). Крепление швеллера к телу балки выполняется с помощью наклонно вклеенных арматурных стержней класса А-400 периодического профиля диаметром 10 мм. Расположение их принимается по главным (либо растягивающим, либо сжимающим) напряжениям под углом 45° с шагом 300 мм по длине балки.

В эксперименте использовали 4 варианта композитных балок и цельную деревянную балку, которая служила эталоном. В разработанных конструкциях композитных балок поперечное сечение уменьшено на 20...30 %, монтажная масса – на 30...40 % по сравнению с обычными деревянными балками [11].

Армирование композитных балок повышает их несущую способность более чем на 47...66 % и уменьшает деформативность на 54...62 % по сравнению с деревянными. Это позволяет использовать их для повышенных нагрузок, расширяет область применения и сокращает расход древесины при производстве деревянных клееных конструкций.

Приоритетным направлением в развитии АДК является разработка с применением в их составе углеродных нановолокон. Углеродные нанотрубки в настоящее время используются при создании новых конструкций из древесины и др. материалов. Они известны своими уникальными механическими, электрическими и термическими свойствами и пригодны для широкого применения. Модуль Юнга (1000 ГПа) и прочность на разрыв (60 ГПа) были измерены на индивидуальной структуре. Такое сочетание свойств и формы

продукта, совместимое с современными технологиями переработки полимеров, обеспечивает создание новых конструкционных материалов.

Основными элементами деревоклееной композитной балки являются древесина, стеклоткань на основе базальтового волокна и эпоксидная матрица с включенными в ее состав углеродными нанотрубками. Сечение исследуемых балок 100×70 мм. Стеклоткань приклеивали в растянутой зоне деревянной балки на эпоксидной матрице смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок.

В предложенной конструкции деревоклееной балки обеспечивается снижение поперечного сечения на 20...25 %, повышение прочности на 34...56 %, уменьшение деформативности на 24...42 % по сравнению с обычными деревянными балками.

В ходе эксперимента определены границы применения новых разработанных конструкций. Стеклоткань на основе базальтового волокна рекомендуется использовать в широких диапазонах температур, что повышает огне- и химическую стойкость древесины, расширяет диапазон ее применения. При этом конструкции балок в целом не магнитны и радиопрозрачны, как древесина. Разрушение деревоклееной балки с применением углеродных нанотрубок, в отличие от цельнодеревянных, носит пластичный характер.

Разработанные деревоклееной балки рекомендуются для усиления деревянных конструкций в промышленном, гражданском и транспортном строительстве, в специальных сооружениях. Результаты исследований рекомендованы для внесения в действующие нормы проектирования.

Технико-экономические показатели свидетельствуют, что применение армированных деревянных конструкций по сравнению с неармированными сокращает приведенные затраты на 20...25 %, расход древесины в 1,8–2,1 раза, массу конструкций на 20...30 %, уменьшаются размеры поперечного сечения. Отмеченные факторы снижают трудоемкость изготовления, объем здания и, следовательно, затраты на ограждающие конструкции и отопление. Уменьшение габаритов и массы конструкций дает возможность более эффективно решать вопросы хранения, транспортировки и монтажа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белянкин Ф.П.* Длительное сопротивление древесины. М.: ОНТИ, 1934. 280
2. *Иванов Ю.М., Линьков И.М., Сороткин В.М.* Исследование влияния армирования на прочность и жесткость клееных деревянных изгибаемых элементов // Разработка и исследование клееных и фанерных армированных конструкций: тр. УНИИАС. Вып. 24. М., 1972. С. 13–39.
3. *Лукин М.В.* Совершенствование конструкций и технологии производства деревоклееных композитных балок: дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 150 с.
4. *Ретин В.А.* Деревянные балки с рациональным армированием: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2000. 158 с.
5. *Ржаницин А.Р.* Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 416 с.

6. *Рощина С.И.* Армирование – способ повышения надежности и долговечности деревянных конструкций // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 71–75. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. *Рощина С.И.* Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2009. 200 с.

8. *Смирнов Е.А.* Прочность и деформативность клееных деревянных балок групповым армированием на части длины: дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 140 с.

9. *Щуко В.Ю.* Клееные деревянные балки, армированные стальной арматурой // Тр. Иркутского политехн. ин-та. Вып. 37. Иркутск, 1967. С. 51–59.

10. *Щуко В.Ю., Рощина С.И.* Армированные деревянные конструкции в строительстве: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2002. 68 с.

11. *Щуко В.Ю., Рощина С.И., Ретин В.А.* Прочность и деформативность клееных деревянных балок с продольно-поперечным армированием // Современные строительные конструкции. Одесса, 2003.

Поступила 13.12.12

*S.I. Roshchina, M.S. Sergeev, A.V. Lukina*

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

### **Reinforced Wooden Structures**

The paper focuses on the study of reinforced wooden structures and their use in construction.

*Keywords:* reinforced wooden structures, deformability, strength, long-acting load.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 547.992.3:581.412

*А.П. Карманов<sup>1</sup>, Л.С. Кочева<sup>2</sup>, В.Ю. Беляев<sup>1</sup>, О.С. Бровко<sup>3</sup>, Ю.С. Оводов<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Институт химии Коми научного центра Уральского отделения РАН

<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет

<sup>3</sup>Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

<sup>4</sup>Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Карманов Анатолий Петрович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Куйбышевский политехнический институт, доктор химических наук, заведующий лабораторией физико-химии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 250 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, самоорганизации, фракталов, нелинейной динамики и электронной микроскопии.  
E-mail: apk0948@yandex.ru



Кочева Людмила Сергеевна окончила в 1979 г. Сыктывкарский государственный университет, доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой химии Сыктывкарского государственного университета. Имеет более 130 печатных работ в области химии и технологии растительных веществ, структурной организации биополимеров, самоорганизации, электронной микроскопии.  
E-mail: kocheva-ls@chemi.komisc.ru



Беляев Валерий Юрьевич родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат химических наук, ст. научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 50 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, целлюлозы, лигноуглеводного комплекса.  
Тел.: 8(8212) 432427



Бровко Ольга Степановна окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент, ст. научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 120 научных трудов в области физикохимии биополимеров.  
E-mail: brovko-olga@rambler.ru



Оводов Юрий Семенович родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, академик РАН, член Бюро Отделения биологических наук РАН, директор Института физиологии КНЦ УрО РАН. Имеет более 350 научных работ в области иммунологии природных углеводсодержащих антигенов и иммуномодуляторов, химии природных соединений, биоорганической химии, иммунохимии и иммунобиологии.  
E-mail: ovoys@physiol.komisc.ru



### **ЖИЗНЕННАЯ ФОРМА РАСТЕНИЙ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЛИГНИНОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ВТОРИЧНОЙ КСИЛЕМЫ *BETULA NANA* И *BETULA VERRUCOSA*\***

Методами скоростной седиментации, поступательной диффузии и вискозиметрии проведено исследование лигнина березы карликовой *Betula nana* и березы бородавчатой *Betula verrucosa*. Установлены структурно-топологические характеристики и показана возможность отнесения исследуемых лигнинов к универсальному классу звездообразных полимеров.

*Ключевые слова:* лигнин, гидродинамические свойства, конформация, топологическая структура, скейлинг.

#### *Введение*

Известно, что лигнин – один из основных растительных биополимеров на Земле. В отличие от других полимеров, построенных из совершенно одинаковых мономерных единиц, макромолекулы лигнинов представляют собой набор из десятков различных структур – дилигнолов, причем последовательность их соединения неизвестна [7]. Решить эту задачу чрезвычайно сложно, поскольку по современным представлениям на второй стадии биосинтеза – стадии полимеризации – генетические механизмы не работают, и это приводит к хаотической самосборке структурных элементов макромолекулы [9]. Следует отметить, что этот факт не отменяет действие управляющих биосинтезом факторов и процессов самоорганизации, что приводит к созданию вполне определенной структурной организации лигнинов, зависящей от биологической природы растений [1, 4]. По нашему мнению, все растения, точнее каждое конкретное растение, должно иметь свою собственную неповторимую, как отпечатки пальцев, химическую структуру лигнина. Кроме того, доказано, что структура лигнина может изменяться в результате действия экзогенных факторов, а также в процессе онто- и филогенеза. Эти изменения, очевидно, направлены на наилучшее обеспечение и эффективное выполнение лигнином его функций в растении, в том числе на повышение устойчивости

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН (код проекта 12-М-45-2012) и гранта РФФИ (код проекта 12-04-00445-а).

к низким температурам и др. стрессам. В связи с этим определенный интерес представляет исследование структурной организации лигнинов, которые входят в состав различных жизненных форм растений, являющихся представителями одной и той же таксономической группы.

К числу возможных объектов исследования можно отнести лигнин березы бородавчатой (*Betula verrucosa*) и лигнин вторичной ксилемы березы карликовой (*Betula nana*). Последняя относится к виду семейства березовые (*Betulaceae*), который адаптировался к суровым условиям произрастания в районах Крайнего Севера и представляет собой низкорослый кустарник высотой 50 ... 70 см.

Настоящая работа посвящена сравнительному исследованию топологической структуры малоизмененных лигнинов, выделенных из *B. verrucosa* и *B. nana*, традиционными методами молекулярной гидродинамики: скоростной седиментации, поступательной диффузии и капиллярной вискозиметрии.

#### Экспериментальная часть

Исследования проведены с образцами лигнина, выделенными из стволовой части свежесрубленной *B. verrucosa* (Сыктывдинский район Республики Коми) и вторичной ксилемы (стебли) *B. nana*, заготовленной в тундре на севере Республики Коми. Образцы лигнинов выделены стандартными методами механического размола Бьеркмана и диоксановым методом Пеппера.

Элементный состав лигнина Бьеркмана из древесины *B. verrucosa* (L-Bv): С – 57,6 %; Н – 5,4 %. Количество метоксильных (ОСН<sub>3</sub>) групп – 16,2 %. Элементный состав лигнина Пеппера из *B. nana* (L-Bn): С – 56,6 %; Н – 5,6 %.

Фракционирование лигнинов проводили методом дробного осаждения в системе диоксан–бензол. Каждую из фракций, а также нефракционированный образец исследовали с помощью методов молекулярной гидродинамики.

Коэффициенты скоростной седиментации  $S$  и поступательной диффузии  $D$  определяли на аналитической ультрацентрифуге МОМ-3180. При измерении  $S$  концентрация растворов составила  $(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, при измерении  $D$  – примерно  $3,0 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. Вязкость растворов измеряли с помощью вискозиметра Оствальда. Характеристическую вязкость  $[\eta]$  фракций полимера рассчитывали по уравнению Хаггинса.

#### Обсуждение результатов

Растворы лигнинов как высокомолекулярных соединений представляют собой лиофильные системы, термодинамически устойчивые и обратимые. С точки зрения термодинамики разбавленный раствор является определенным аналогом идеального газа, что позволяет измерять молекулярные массы полимеров. Относительно большие размеры макромолекул вносят специфику в свойства и поведение этих систем по сравнению с низкомолекулярными

системами и требуют привлечения специальных (в том числе гидродинамических) методов исследования, которые позволяют определять важные характеристики, отражающие строение соединения как полимера.

Характерные особенности лигнинов как полимеров [2]:

компактность макромолекул, обуславливающая их высокую диффузионную подвижность в растворах;

аномально низкая характеристическая вязкость при нормальных условиях и дальнейшее ее уменьшение при нагревании растворов (отрицательный температурный коэффициент  $[\eta]$ );

вариабельность гидродинамических инвариантов в зависимости от биологического вида растения;

ранжирование фрактальных и других скейлинговых параметров лигнинов по видовому происхождению растений.

Ниже проведен сравнительный анализ макромолекулярных свойств лигнинов L-Vv и L-Vn.

*Оценка молекулярной массы и гидродинамических размеров.* Для вычислений молекулярной массы (ММ) использовали экспериментальные данные, найденные с помощью ультрацентрифуги непосредственно для каждой из анализируемых фракции лигнинов:

$$M_{SD} = S_o RT / (1 - \bar{v} \rho_o) D_o,$$

где  $(1 - \bar{v} \rho_o)$  – фактор плавучести Архимеда системы полимер–растворитель, который определяли пикнометрическим методом, при этом он равен 0,3241 и 0,3250 соответственно для L-Vn–ДМФА и L-Vv–ДМФА.

При определении ММ низкомолекулярных фракций (в отличие от высокомолекулярных) вместо соотношения Сведберга использовали уравнение

$$M_{D\eta} = A_o^3 ([D]^3 [\eta]),$$

где  $A_o$  – усредненный гидродинамический инвариант, установленный по результатам исследования высокомолекулярных фракций методом седиментационно-диффузионного анализа,  $A_o = \eta_o D_o (M_{SD} [\eta])^{1/3} / T$ ;

$$[D] = \eta_o D_o / T.$$

Как показал анализ литературных данных [2, 5], область скейлинга для диоксанлигнинов – это масштабный диапазон (от ~3 до 20 ... 30) · 10<sup>3</sup>. Верхняя граница значений ММ, с одной стороны, определяется природой лигнина, его видовой принадлежностью, конкретными условиями биосинтеза в данном конкретном растении, с другой – процессами деструкции полимера в ходе выделения из растительной ткани. В данном случае для лигнина L-Vv выделены фракции с довольно высоким значением ММ, достигающим почти 70 · 10<sup>3</sup>, тем не менее для всех фракций соблюдается принцип скейлинга, что демонстрируют билогарифмические зависимости транспортных характеристик макромолекул. Низкомолекулярные фракции (ниже (~2 ... 3) · 10<sup>3</sup>) не используются для конформационного анализа, поскольку при уменьшении ММ до указанных значений происходит выход из области скейлинга. Это связано с конечным значением равновесной гибкости для реальных макромолекул.

Таблица 1

Гидродинамические и фрактальные параметры лигнинов Л-Вн и Л-Вп

№ фракции	$[\eta]$ , см <sup>3</sup> /г	$D \cdot 10^3$ , см <sup>2</sup> /с	$S \cdot 10^3$ , с	$M_{гс} \cdot 10^{-3}$	Лигнин Л-Вн	$M_{вн} \cdot 10^{-3}$	$A_0 \cdot 10^{10}$ , эрг · К <sup>-1</sup> · моль <sup>-1/3</sup>	$k_x$	$q$	$d_f$
1	25,4	3,9	3,3	64,5	Лигнин Л-Вн	68,9	2,9	0,23	14,3	2,1
2	25,0	4,2	3,11	56,5		56,0	2,6	0,15	14,0	2,3
3	19,0	5,0	2,73	41,6		43,7	2,6	0,86	10,7	2,0
4	11,1	8,5	2,30	20,6		15,2	2,9	0,60	6,2	1,9
5	7,9	11,4	1,38	9,2		8,9	2,7	0,64	4,4	1,9
6	6,1	13,3	1,06	6,1		7,2	2,5	1,01	3,4	1,9
7	3,5	22,2	-	-		2,7	-	2,64	2,0	1,8
8	3,2	23,4	-	-		2,5	-	3,10	1,8	1,8
9	2,2	33,5	-	-		1,2	-	1,36	1,2	1,7
10*	12,5	7,1	-	-		23,2	-	1,02	7,0	1,9
1	9,0	9,7	1,91	15,1	Лигнин Л-Вп	14,2	2,6	0,93	5,1	1,9
2	8,1	10,5	1,70	12,4		12,4	2,7	0,86	4,5	1,8
3	7,4	11,2	1,55	10,6		11,2	2,7	0,79	4,1	1,8
4	6,3	12,8	1,43	8,6		8,8	2,7	1,00	3,5	1,8
5	5,1	15,6	1,27	6,2		6,0	2,7	1,12	2,9	1,8
6	4,3	18,4	-	-		4,4	2,7	1,08	2,4	1,8
7	3,6	21,1	-	-		3,4	-	1,21	2,0	1,7
8	3,1	24,7	-	-		2,5	-	1,45	1,7	1,7
9*	6,0	13,7	-	-		7,6	-	0,82	3,4	1,8

\* Нефракционированный образец

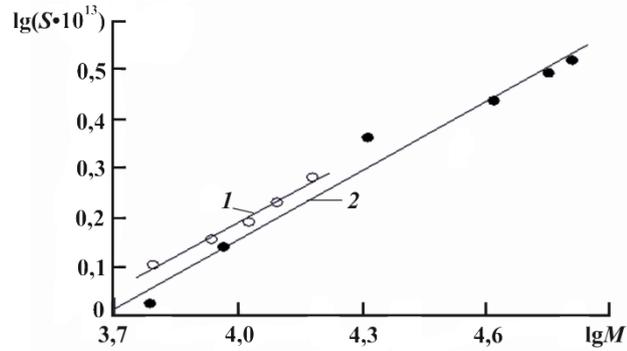
Значения ММ и гидродинамических параметров фракций исследуемых образцов представлены в табл. 1. Молекулярная масса фракций образца L-Bv изменяется в интервале  $(1,2 \dots 68,9) \cdot 10^3$ , у образца L-Bn –  $(2,5 \dots 14,2) \cdot 10^3$ . Таким образом, результаты исследования показывают, что лигнин карликового растения является относительно низкомолекулярным. Следует ли рассматривать это факт как следствие влияния климатических условий, среди которых температурный фактор является одним из важнейших, утверждать достаточно сложно, однако, как видно из табл. 1,  $M_{Dn}$  исходного нефракционированного образца L-Bn практически в 3 раза ниже, чем для образца L-Bv.

Следует отметить, что исследование закономерностей биосинтеза лигнина *in vitro* выявило наличие температурной зависимости молекулярной массы дегидрополимеров. Было показано [2], что биосинтетический лигнин, синтезированный при температуре 10 °С, имеет в 1,5–2 раза меньшую ММ, чем синтезированный при температуре 20 °С, а в температурной области 2 ... –60 °С различия по ММ еще более существенны.

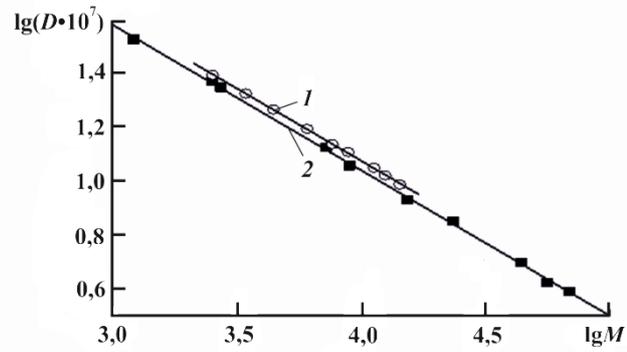
*Компактность макромолекул.* Важнейшее свойство лигнинных полимеров – компактность макромолекул – состоит в том, что макромолекулы всех без исключения лигнинов имеют сравнительно малые гидродинамические размеры в любых растворителях лигнина. В результате этого полимерные клубки в разбавленных растворах отличаются низким коэффициентом поступательного трения, что приводит к высоким значениям экспериментально определяемых коэффициентов диффузии. Как показывает анализ гидродинамических данных, исследуемые лигнины характеризуются весьма высокой плотностью макромолекулярных клубков, которая может быть количественно оценена с помощью так называемой степени глобулярности. Для исследуемых препаратов степень глобулярности достигает 20 % и более, тогда как для типичных линейных гибкоцепных полимеров обычно не менее 10 %. Кроме того, компактность макромолекул можно оценить по значению коэффициента  $q = 0,4[\eta] / \bar{v}$ . Приведенные в табл. 1 результаты расчетов показывают, что  $q$  для препарата L-Bv не превышает 14,0, для L-Bn – 5,1. Синтетические линейные полимеры характеризуются на порядок более высокими значениями  $q$ .

*Принцип скейлинга.* Выполнимость принципа скейлинга указывает на топологическую однородность высокомолекулярных соединений. Прямолинейность зависимостей в рамках уравнения Марка–Куна–Хаувинка (М–К–Х) для системы лигнин–ДМФА (см. рисунок) свидетельствует о молекулярно-массовом скейлинге гидродинамических параметров для образцов L-Bv и L-Bn, т.е. макромолекулы являются масштабно-инвариантными. Зависимости  $S$ ,  $D$  и  $[\eta]$  от  $M_{DS}$  удовлетворительно аппроксимируются степенными уравнениями типа М–К–Х:

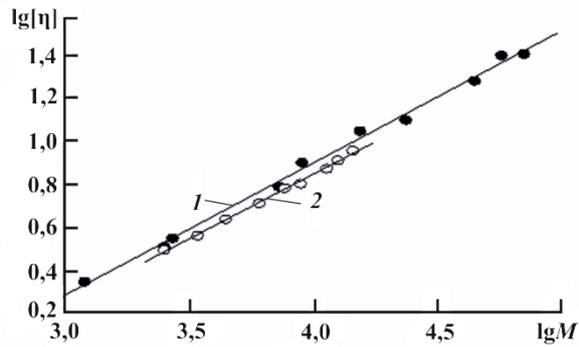
$$[\eta] = K_{\eta} M^a; S = K_S M^c; D = K_D M^b.$$



a



b



в

Зависимость коэффициентов седиментации  $M_{SD}$  (a), поступательной диффузии от  $M_{D\eta}$  (б) и характеристической вязкости от  $M_{D\eta}$  (в) образцов L-Bv(1) и L-Bn(2) в растворителе ДМФА

Значения скейлинговых индексов М–К–Х и соответствующие им коэффициенты  $K_{\eta}$ ,  $K_S$ ,  $K_D$  представлены в табл. 2. При анализе скейлинговых индексов выявлено, что для обоих образцов четко выполняется соотношение

$$|b| = (a + 1)/3 = 1 - c,$$

указывающее на корректность проведенных расчетов и определенное соответствие гидродинамических размеров, оцениваемых по эффектам вращательного и поступательного трения. Значения параметров М–К–Х для L-Vv и L-Vn полностью совпадают, что демонстрируют также графики зависимостей типа М–К–Х, и соответствуют линейным полимерам в конформации набухшего непротекаемого клубка. Кроме того, необходимо обратить внимание на последовательность этих индексов по численным значениям  $a > |b| > c$ , что отражает типичную для линейных полимеров закономерность по факту чувствительности к изменению ММ соответствующих гидродинамических параметров. Однако не следует спешить с выводами о топологической структуре исследуемых полимеров, поскольку характерными для линейной топологии скейлинговыми параметрами обладают и разветвленные структуры с линейными ветвями.

Таблица 2

Макромолекулярные характеристики лигнинов L-Vv и L-Vn

Образец	$(1 - \bar{v}_{p0})$	$a$	$b$	$c$	$K_{\eta}, \text{см}^3/\text{г}$	$K_S, \text{с}$	$K_D, \text{см}^2/\text{с}$	$d_f$
L-Vv	0,3250	0,61±0,03	-0,53±0,03	0,47±0,0	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-15}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	1,9±0,2
L-Vn	0,3241	0,65±0,02	-0,54±0,03	0,46±0,0	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-15}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	1,8±0,1

Представляет интерес сравнение скейлинговых индексов, в частности параметра  $a$ , для лигнинов различного биологического происхождения. Из опубликованных данных [2] следует, что для хвойных лигнинов (G-тип) этот параметр варьирует в пределах от 0,12 до 0,30, для лиственных (GS-тип) – от 0,50 до 0,65, для травянистых (GSH-тип) – 0,70 и более. Для исследуемых в данной работе лигнинов индекс  $a$  составляет  $0,61 \pm 0,03$  и  $0,65 \pm 0,20$  соответственно для препаратов L-Vv и L-Vn, что укладывается в интервал значений, установленный для лиственных лигнинов.

*Гидродинамические инварианты.* Для характеристики и сравнения различных полимеров используются параметры Флори–Манделькерна или Цветкова–Кленина. Параметр Цветкова–Кленина ( $A_0$ ), определенный методом седиментационно-диффузионного анализа, считается наиболее надежным и, как показано в работе [8], представляет собой инвариант, отражающий выполнимость самоподобных свойств для фракций с различной молекулярной массой как в хороших, так и в  $\Theta$ -растворителях. Различия в значениях параметра  $A_0$  могут зависеть от термодинамической гибкости цепи, а также от особенностей топологической структуры (при прочих равных). Для образца L-Vn данный параметр составляет  $2,7 \cdot 10^{10} \text{ эрг} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1/3}$ , для L-Vv находится в интервале  $(2,5 \dots 2,9) \cdot 10^{10} \text{ эрг} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1/3}$ , т.е. по данному показателю

препараты практически не отличаются. Линейные полимеры, в том числе препараты лигнина, выделенные из растений семейства злаковых, характеризуются более высокими средними значениями инварианта Цветкова–Кленина  $((3,2 \pm 0,1) \cdot 10^{10} \text{ эрг} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1/3})$ . Наличие разветвлений в полимерной цепочке приводит к однозначному снижению, поэтому можно утверждать, что исследуемые лигнины относятся к одному из классов разветвленных полимеров.

*Коэффициенты Хаггинса.* Характерной особенностью полимерных систем лигнин–растворитель следует считать достаточно высокие значения коэффициентов Хаггинса  $k_x$  вне зависимости от природы лигнина, метода выделения и выбора растворителя. В низкомолекулярной области значения  $k_x$  при переходе от фракции к фракции обычно варьируют в диапазоне 1,00 ... 5,00. Как видно из табл. 1, для системы L-Vn–ДМФА диапазон изменений коэффициентов Хаггинса невелик (0,79 ... 1,45) и явно выходит за рамки погрешности измерений. Для другой системы L-Vv–ДМФА диапазон вариации  $k_x$  составляет 0,15 ... 3,10.

В связи с этим принципиально важными представляются результаты определения фрактальной размерности отдельных фракций лигнинов по методу, предложенному Г.В. Козловым и др. [3], который опирается на значения коэффициентов Хаггинса. Значения фрактальной размерности  $d_f$  (табл. 1), вычисленные по методу [3], для фракции L-Vn практически одинаковы ( $1,8 \pm 0,1$ ) и совпадают с вычисленными по скейлинговым индексам M–K–X (табл. 2). Для образца L-Vv  $d_f$  также является достаточно постоянной величиной, хотя  $k_x$ , на основе которых были рассчитаны фрактальные размерности каждой из фракций, существенно отличаются (например, 0,15 для фракции № 2 и 3,10 для фракции № 8). В данном случае эти результаты указывают на надежность оценок коэффициентов Хаггинса. Как известно, изменчивые и высокие значения коэффициентов Хаггинса свидетельствуют о неприменимости концепции линейных цепей.

Ранее [6] было проведено исследование гидродинамических свойств другого образца лигнина березы *B. verrucosa*. При этом лигнин характеризовался следующими уравнениями M–K–X:

$$[\eta] = 4,0 \cdot 10^{-2} M^{0,57}; \quad S_0 = 0,85 \cdot 10^{-15} M^{0,55}; \quad D_0 = 0,65 \cdot 10^{-4} M^{0,45}.$$

На основании полученных данных был сделан вывод о том, что макромолекулы березовых лигнинов представляют собой тетрафункциональные звезды, гидродинамические и конформационные свойства которых определяются линейной топологией ветвей. Сравнение ранее полученных результатов и экспериментальных данных, приведенных в настоящей работе, указывает на то, что лигнин, выделенный из карликовой березы, практически не отличается (за исключением молекулярной массы) от лигнинов березы бородавчатой, т. е. топологическая структура этого полимера отвечает универсальному классу полимеров звездообразной структуры.

*Выводы*

1. Проведено сравнительное исследование гидродинамических свойств лигнина березы *B. papyra* и березы *B. verrucosa*. Определены молекулярные массы, характеристические вязкости, коэффициенты диффузии и седиментации, установлены структурно-топологические параметры макромолекул.

2. Установлено, что лигнин березы *B. papyra* отличается от лигнина *B. verrucosa* сравнительно более низкой молекулярной массой, однако значения гидродинамических и скейлинговых характеристик у них практически одинаковые.

3. Обнаружена общность в структурной организации лигнина березы *B. papyra* и березы *B. verrucosa* на топологическом уровне и показана возможность отнесения этих лигнинов к универсальному классу звездообразных полимеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование физико-химических свойств лигнинов из древесины сосны и акации / А.П. Карманов, Л.С. Кочева, К.Г. Боголицын, Д.В. Кузьмин // Лесн. журн. 2003. № 5. С. 93–102. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Карманов А.П. Самоорганизация и структурная организация лигнина // Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 269 с.
3. Козлов Г.В., Темираев К.Б., Созаев В.А. Оценка фрактальной размерности макромолекулярного клубка в разбавленном растворе по вязкостным характеристикам // Журн. физ. химии. 1999. Т. 73, № 4. С. 766–768.
4. Лигнин ксилемы пихты *Abies sibirica*. Исследование структуры макромолекул методами молекулярной гидродинамики / А.П. Карманов [и др.] // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 137–145. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Свойства растворов и конформационные характеристики макромолекул диоксанлигнинов / А.П. Карманов [и др.] // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 112–120. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Топологическая структура природного лигнина березы / А.П. Карманов [и др.] // Высокомолекул. соед. 2002. Т. 44 (А), № 2. С. 233–238.
7. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) / Пер. с англ.; под ред. А.А. Леоновича. М., 1988. 512 с.
8. Цветков В.Н., Лавренко П.Н., Бушин С.В. Гидродинамический инвариант полимерных молекул // Успехи химии. 1982. Т. 51, № 10. С. 1698–1732.
9. Ralph J. Hydroxycinnamates in lignification // Phytochem. Rev. 2010. N 9. P. 65–83.

Поступила 17.05.12

*A.P. Karmanov<sup>1</sup>, L.S. Kocheva<sup>2</sup>, V.Yu. Belyaev<sup>1</sup>, O.S. Brovko<sup>3</sup>, Yu.S. Ovodov<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Chemistry, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Syktvykar State University

<sup>3</sup>Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>4</sup>Institute of Physiology, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

**Life Form of Plants and Structure of Lignins Isolated from the Secondary Xylem of *Betula nana* and *Betula verrucosa***

Velocity sedimentation, translational diffusion and viscosimetry were used to examine hydrodynamic properties of *Betula nana* and *Betula verrucosa* lignins. Structural-topological parameters were determined and the possibility of classifying the lignins under study as star polymers was demonstrated.

*Keywords:* lignin, hydrodynamic properties, conformation, topological structure, scaling.

УДК 691.178.004.14

*А.И. Дмитренко<sup>1</sup>, О.Н. Филимонова<sup>2</sup>, С.С. Никулин<sup>2</sup>, Г.Ю. Вострикова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Воронежская государственная лесотехническая академия

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий

<sup>3</sup>Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Дмитренко Александр Иванович родился в 1960 г., окончил в 1983 г. Воронежский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры химии Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 130 печатных работ в области переработки и использования отходов и побочных продуктов промышленности синтетического каучука и деревообработки, получения композиционных материалов на их основе.

E-mail: chem@vglta.vrn.ru



Филимонова Ольга Николаевна окончила в 1980 г. Куйбышевский политехнический институт им. В.В. Куйбышева, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной экологии и техногенной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий. Имеет более 150 печатных работ в области переработки, утилизации промышленных отходов.

Тел.: +7(473) 249-60-24



Никулин Сергей Саввович родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Воронежский государственный технологический институт, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной экологии и техногенной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий. Имеет около 600 печатных работ в области научно обоснованного подхода к переработке и использованию отходов и побочных продуктов химических, нефтехимических и деревообрабатывающих производств, разработки экологически чистых технологий.

E-mail: Nikulin\_sergey48@mail.ru



Вострикова Галина Юрьевна окончила в 1999 г. Воронежский государственный университет, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры физики и химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет 15 печатных работ в области коллоидной химии, создания композиционных материалов на основе различных промышленных отходов.

E-mail: vostr76-08@live.ru



## **МОДИФИКАЦИЯ НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ ИЗ ФРАКЦИИ С<sub>9</sub> ОТХОДАМИ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДВП**

Предложен способ модификации нефтеполимерной смолы на основе фракции С<sub>9</sub> и ее применения для улучшения показателей древесно-волоконистых плит (ДВП) и повышения водо- и влагостойкости натуральной древесины. Установлено, что полученные пропиточные материалы улучшают водоотталкивающие свойства плитных материалов, древесины и повышают прочность ДВП при изгибе.

© Дмитренко А.И., Филимонова О.Н., Никулин С.С., Вострикова Г.Ю., 2013

*Ключевые слова:* промышленные отходы, композиционные материалы, углеводородная фракция  $C_9$ , нефтеполимерные смолы, коагулюмы, бутадиен-стирольные каучуки, модификация, пропиточные составы, древесно-волоконистые плиты, древесина осины.

В настоящее время большое внимание уделяется охране окружающей среды. Решение этой проблемы непосредственно связано с переработкой и использованием различных промышленных отходов, которые могут быть применены для улучшения свойств промышленных материалов (древесины и древесных композиционных материалов). Разработка новых технологий использования вторичного сырья способствует увеличению производительности процессов, более полному и экономичному использованию дорогостоящего сырья, расширению ассортимента выпускаемой продукции.

Одним из побочных продуктов предприятий нефтехимической промышленности является углеводородная фракция  $C_9$ . В настоящее время на ее основе в промышленных масштабах освоен выпуск нефтеполимерной смолы, используемой в качестве пленкообразующего в лакокрасочных составах [4]. Одним из основных достоинств данного продукта является его низкая цветность (менее 100 ед. ЙМШ), что позволяет использовать его в светлых лакокрасочных материалах. Модифицированные малеиновым ангидридом нефтеполимерные смолы могут быть использованы в производстве бумаги, картона и др.

Перспективным направлением применения модифицированных нефтеполимерных смол является их использование в качестве пропиточных составов для улучшения свойств древесины и древесных плитных материалов [7, 8]. В качестве модифицирующих агентов для нефтеполимерных смол применяли вторичный пенополистирол [7] или малеиновую кислоту [8].

Другими побочными продуктами являются коагулюмы, которые образуются при производстве синтетических каучуков, получаемых методом эмульсионной (со)полимеризации. Они представляют собой конгломерат из разветвленных и сшитых макромолекул каучука. Коагулюмы отлагаются на технологическом оборудовании на различных этапах производства синтетических каучуков. Данные отходы до настоящего времени не нашли пока своего эффективного применения.

Кроме того, большое количество каучуковых остатков накапливается на очистных сооружениях. Данные остатки представляют собой смесь мелкодисперсной каучуковой крошки, уносимой с промывными водами из цехов выделения каучуков из латекса.

В промышленных масштабах также образуются некондиционные каучуки, имеющие отклонения от предъявляемых требований. Данные отклонения отмечаются в получаемой продукции в момент пуска технологического оборудования, после его остановки на ремонт, смены марки выпускаемого каучука и др.

Интересным направлением в этом плане является рассмотрение возможности модификации нефтеполимерной смолы из фракции  $C_9$  коагулюмом

от производства бутадиен-стирольного каучука, осуществляемой путем их совместной высокотемпературной переработки. Данный процесс должен сопровождаться преимущественной деструкцией макромолекул бутадиен-стирольного каучука и получением композита сложного состава, включающего продукты не только деструкции каучука, но и его взаимодействия с нефтеполимерной смолой и др. Полученный композит может найти свое применение в композиционных лакокрасочных составах, в шинной и резинотехнической промышленности, а также в качестве пропиточных составов древесины и изделий на ее основе.

Из работ [2, 3, 5] известно, что в процессе деструкции полимеров протекают две конкурирующие реакции, сопровождающиеся уменьшением (деструкция) и увеличением (структурирование) молекулярной массы полимерных молекул. Какой из этих процессов будет доминировать определяется природой полимера, размером макромолекул, условиями проведения реакции. Так, в работах [2, 3, 5] отмечено, что сначала доминирует процесс деструкции (разрыв полимерных цепей), т.е. уменьшение молекулярной массы полимера. После накопления достаточно большого количества молекул с невысокими значениями молекулярных масс (500 ... 1500) в системе начинают доминировать процессы структурирования, приводящие к увеличению вязкости системы и молекулярной массы. Таким образом, варьируя условия обработки (температуру, катализатор, давление, концентрацию, продолжительность) можно получать материалы с требуемым набором свойств. Например, для применения их в пропиточных составах требуется получить продукт, обладающий невысокими значениями молекулярных масс (олигомер), который будет легко проникать в проводящие элементы таких материалов, как древесина и др. пористые системы. Необходимо отметить, что процесс деструкции как правило протекает в присутствии кислорода и кислородсодержащих соединений (пероксидов), что приводит к появлению у получаемых продуктов кислородсодержащих функциональных групп и придает им ряд новых свойств, т.е. неполярные материалы приобретают полярность. Это особенно важно в случае применения данных продуктов в пропиточных составах для защиты древесных материалов, содержащих большое количество гидроксильных, карбонильных и других функциональных групп [6]. Наличие таких групп у модификатора будет способствовать их взаимодействию с функциональными группами компонентов древесины с образованием как водородных связей, так и прочного полимерного каркаса. Уменьшается такой недостаток модификатора, как вымываемость из изделий в процессе их эксплуатации и др. У древесного материала увеличивается плотность, и он приобретает повышенную прочность и улучшенные водоотталкивающие свойства. Кроме того, в зависимости от используемого модификатора древесина малоценных пород приобретает окраску от светло- до темно-коричневой и приближается по свойствам к древесине ценных пород.

На первом этапе данной работы проводили модификацию смолы на основе фракции С<sub>9</sub>. В реактор загружали нефтеполимерную смолу, растворитель (ксилол) и отходы от производства бутадиен-стирольного каучука марки СКС-30 АРК в количестве 2 ... 6 % от массы смолы. Реактор герметично закрывали и процесс проводили при температуре 180 °С в течение 8 ... 24 ч. Ход процесса контролировали по изменению вязкости системы, молекулярной массы и бромного числа, периодически отбирая пробы из реактора. Результаты исследований представлены в табл. 1.

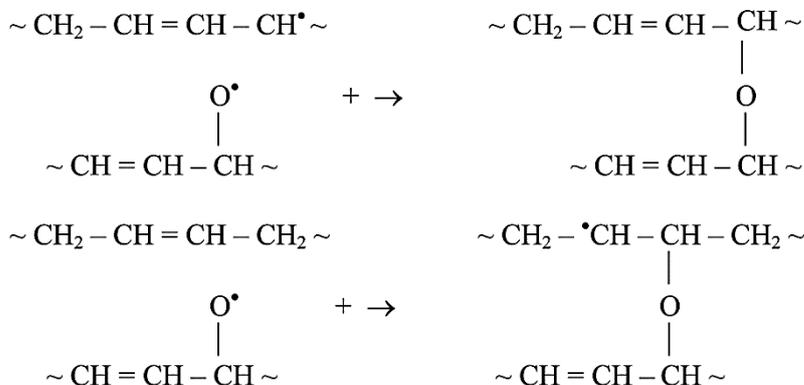
Таблица 1

**Изменение бромного числа и молекулярной массы  
от продолжительности взаимодействия**

Продукт	Продолжительность взаимодействия, ч	Бромное число, мг Br <sub>2</sub> / 100 г	Молекулярная масса
Исходная нефтеполимерная смола на основе фракции С <sub>9</sub>	–	139,7	560
Нефтеполимерная смола на основе фракции С <sub>9</sub> с отходами СКС-30 АРК, %:	2	8	145,3
	16	115,7	640
	24	86,1	590
4	8	147,3	770
	16	130,9	700
	24	112,1	630
6	8	170,2	810

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что увеличение содержания доли отходов производства бутадиен-стирольного каучука в нефтеполимерной смоле на основе фракции С<sub>9</sub> приводит к увеличению вязкости системы, возрастанию молекулярной массы и снижению бромного числа, характеризующего непердельность. Снижение непердельности (количества двойных связей) может быть связано с тем, что в процессе высокотемпературной переработки смеси двух материалов, один из которых обладает невысокой, а другой – высокой молекулярной массой, в первую очередь принимают участие двойные связи. Процесс деструкции полимерных цепей достаточно хорошо изучен и описан в ряде работ [3, 5].

Учитывая, что в исследуемой системе образуется большое количество радикалов, можно предположить, что наряду с процессом деструкции в системе протекают и обратные процессы – структурирования, в которых также принимают активное участие двойные связи.



Это приводит к повышению вязкости системы за счет увеличения молекулярной массы образующихся продуктов.

Процессы структурирования начинают доминировать над процессами деструкции в том случае, когда в системе содержание молекул с высокой молекулярной массой достигнет определенного минимального значения. Этот минимум молекулярных масс находится в пределах 500 ... 1500, т.е. полимер в данном случае перестает существовать как полимер и переходит в разряд олигомеров, которые характеризуются двойственностью, проявляя в одном случае свойства мономеров, в другом – полимеров.

Обладая невысокими значениями молекулярных масс и, соответственно, малыми размерами, данные молекулы должны относительно легко проникать в пористые материалы, заполняя производственные дефекты, повышая прочностные показатели и водоотталкивающие свойства изделий. Особый интерес в этом плане представляет использование олигомерных продуктов в деревообрабатывающей промышленности, так как древесина и материалы на ее основе обладают повышенной чувствительностью к действию влаги.

На втором этапе данных исследований полученные модифицированные нефтеполимерные смолы были использованы в качестве пропиточных составов для древесины малоценных пород и ДВП.

Для пропитки был взят продукт, полученный при добавлении 6 % отходов СКС-30 АРК (обработку проводили 16 ч при температуре  $t = 180$  °С) и обладающий следующими показателями: содержание продукта в растворе ~50 %; бромное число ~135 мг Br<sub>2</sub>/100 г; молекулярная масса 750.

Оценку эффективности применения нефтеполимерной смолы, модифицированной отходами производства бутадиен-стирольного каучука в качестве пропиточного состава, изучали на образцах древесины осины стандартных размеров 20×20×30 мм. Пропитку осуществляли следующим образом. В пропиточную ванну загружали углеводородный раствор модифицированной нефтеполимерной смолы, нагревали до заданной температуры и погружали в него образцы древесины, выдерживая в течение установленного времени.

После чего образцы извлекали из ванны и подвергали термообработке. Содержание модификатора в древесине определяли гравиметрическим методом.

Исследования проводили с использованием метода планирования эксперимента по схеме греко-латинского квадрата 4-го порядка [1].

В качестве факторов, оказывающих влияние на свойства получаемых модифицированных образцов древесины осины, выбраны температура пропиточного состава, продолжительность пропитки, температура и продолжительность термообработки. Для каждого фактора взяты четыре уровня варьирования: температура пропитки (фактор  $a$ ) – 60, 80, 100, 120 °С; продолжительность пропитки (фактор  $b$ ) – 1, 3, 5, 7 ч; температура термообработки (фактор  $c$ ) – 110, 130, 150, 170 °С; продолжительность термообработки (фактор  $d$ ) – 1, 3, 5, 7 ч.

Свойства древесины осины, подвергнутой модифицирующей пропитке, контролировали по изменению таких показателей, как водопоглощение ( $y_i$ ), разбухание в тангенциальном ( $y'_i$ ) и радиальном ( $y''_i$ ) направлениях через 1 и 30 сут. Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 2.

Таблица 2

План и результаты эксперимента по пропитке образцов древесины осины

$a$	Значения контролируемых показателей при разных значениях $b, c$ и $d$			
	$b_1 = 1$ ч	$b_2 = 3$ ч	$b_3 = 5$ ч	$b_4 = 7$ ч
$a_1 = 60$ °С	$c_1 = 110$ °С $d_1 = 1$ ч $y_1 = 89,7$ % $y'_1 = 11,2$ % $y''_1 = 8,9$ %	$c_2 = 130$ °С $d_2 = 3$ ч $y_2 = 87,3$ % $y'_2 = 11,0$ % $y''_2 = 8,6$ %	$c_3 = 150$ °С $d_3 = 5$ ч $y_3 = 86,5$ % $y'_3 = 9,4$ % $y''_3 = 6,2$ %	$c_4 = 170$ °С $d_4 = 7$ ч $y_4 = 84,4$ % $y'_4 = 8,6$ % $y''_4 = 5,3$ %
$a_2 = 80$ °С	$c_2 = 130$ °С $d_3 = 5$ ч $y_5 = 83,8$ % $y'_5 = 8,0$ % $y''_5 = 4,6$ %	$c_1 = 110$ °С $d_4 = 7$ ч $y_6 = 79,6$ % $y'_6 = 7,5$ % $y''_6 = 3,7$ %	$c_4 = 170$ °С $d_1 = 1$ ч $y_7 = 78,5$ % $y'_7 = 6,3$ % $y''_7 = 2,5$ %	$c_3 = 150$ °С $d_2 = 3$ ч $y_8 = 81,6$ % $y'_8 = 7,6$ % $y''_8 = 5,2$ %
$a_3 = 100$ °С	$c_3 = 150$ °С $d_4 = 7$ ч $y_9 = 80,4$ % $y'_9 = 6,3$ % $y''_9 = 5,3$ %	$c_4 = 170$ °С $d_3 = 5$ ч $y_{10} = 77,2$ % $y'_{10} = 6,0$ % $y''_{10} = 5,0$ %	$c_1 = 110$ °С $d_2 = 3$ ч $y_{11} = 79,5$ % $y'_{11} = 7,5$ % $y''_{11} = 4,8$ %	$c_2 = 130$ °С $d_1 = 1$ ч $y_{12} = 77,3$ % $y'_{12} = 6,7$ % $y''_{12} = 4,6$ %
$a_4 = 120$ °С	$c_4 = 170$ °С $d_2 = 3$ ч $y_{13} = 73,2$ % $y'_{13} = 5,5$ % $y''_{13} = 4,0$ %	$c_3 = 150$ °С $d_1 = 1$ ч $y_{14} = 74,3$ % $y'_{14} = 4,2$ % $y''_{14} = 3,6$ %	$c_2 = 130$ °С $d_4 = 7$ ч $y_{15} = 71,7$ % $y'_{15} = 4,0$ % $y''_{15} = 3,1$ %	$c_1 = 110$ °С $d_3 = 5$ ч $y_{16} = 71,4$ % $y'_{16} = 3,3$ % $y''_{16} = 2,9$ %

На основе полученных экспериментальных данных установлено, что наиболее существенное влияние на гидрофобные свойства обработанной древесины оказывают продолжительность пропитки в растворе модифицированной нефтеполимерной смолы, температура и продолжительность термообработки.

Изучение свойств ДВП, пропитанных модифицированной смолой с добавкой ~10 % сиккатива, который способствует как ускорению процессов образования гидропероксидов, так и их распаду, проводили с использованием метода планирования эксперимента по плану греко-латинского квадрата. Исследовали влияние таких факторов, как продолжительность пропитки, температура термообработки и продолжительность термообработки. Для каждого фактора взяты четыре уровня варьирования: продолжительность пропитки (фактор  $a$ ) – 15, 30, 45, 60 с; температура термообработки (фактор  $b$ ) – 110, 130, 150, 170 °С; продолжительность термообработки (фактор  $c$ ) – 1, 3, 5, 7 ч.

Свойства пропитанных ДВП контролировали по изменению предела прочности при изгибе ( $y_i$ ), водопоглощения ( $y'_i$ ), разбухания по толщине через 24 ч ( $y''_i$ ). Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 3.

Таблица 3

План и результаты эксперимента по пропитке образцов ДВП

$a$	Значения контролируемых показателей при разных значениях $b$ и $c$			
	$b_1 = 110$ °С	$b_2 = 130$ °С	$b_3 = 150$ °С	$b_4 = 170$ °С
$a_1 = 15$ с	$c_1 = 1$ ч	$c_2 = 3$ ч	$c_3 = 5$ ч	$c_4 = 7$ ч
	$y_1 = 22,8$ МПа	$y_2 = 23,7$ МПа	$y_3 = 25,3$ МПа	$y_4 = 28,4$ МПа
	$y'_1 = 24,5$ %	$y'_2 = 23,3$ %	$y'_3 = 21,5$ %	$y'_4 = 16,6$ %
	$y''_1 = 15,3$ %	$y''_2 = 14,3$ %	$y''_3 = 13,7$ %	$y''_4 = 11,8$ %
$a_2 = 30$ с	$c_2 = 3$ ч	$c_1 = 5$ ч	$c_4 = 7$ ч	$c_3 = 1$ ч
	$y_5 = 31,7$ МПа	$y_6 = 27,5$ МПа	$y_7 = 32,1$ МПа	$y_8 = 34,9$ МПа
	$y'_5 = 21,5$ %	$y'_6 = 24,3$ %	$y'_7 = 14,7$ %	$y'_8 = 18,2$ %
	$y''_5 = 14,3$ %	$y''_6 = 13,8$ %	$y''_7 = 12,7$ %	$y''_8 = 11,6$ %
$a_3 = 45$ с	$c_3 = 5$ ч	$c_4 = 7$ ч	$c_1 = 1$ ч	$c_2 = 3$ ч
	$y_9 = 34,1$ МПа	$y_{10} = 23,2$ МПа	$y_{11} = 27,4$ МПа	$y_{12} = 35,4$ МПа
	$y'_9 = 19,6$ %	$y'_{10} = 23,3$ %	$y'_{11} = 19,4$ %	$y'_{12} = 16,4$ %
	$y''_9 = 13,9$ %	$y''_{10} = 15,0$ %	$y''_{11} = 14,1$ %	$y''_{12} = 13,9$ %
$a_4 = 60$ с	$c_4 = 7$ ч	$c_3 = 1$ ч	$c_2 = 3$ ч	$c_1 = 5$ ч
	$y_{13} = 36,8$ МПа	$y_{14} = 22,1$ МПа	$y_{15} = 30,6$ МПа	$y_{16} = 39,4$ МПа
	$y'_{13} = 20,4$ %	$y'_{14} = 21,9$ %	$y'_{15} = 17,6$ %	$y'_{16} = 14,3$ %
	$y''_{13} = 13,3$ %	$y''_{14} = 11,8$ %	$y''_{15} = 12,6$ %	$y''_{16} = 10,0$ %

После обработки экспериментальных результатов с использованием вычислительных средств были получены уравнения регрессии, описывающие влияние основных технологических параметров процесса на свойства образцов ДВП:

предел прочности при изгибе

$$Y_{\text{проч}} = 1,17 \cdot 10^{-3}(24,94 + 0,12a)(18,99 + 7,5 \cdot 10^{-2}b)(27,08 + 0,56c);$$

водопоглощение (через 24 ч)

$$Y_{\text{водопог}} = 2,61 \cdot 10^{-3} \cdot (21,77 - 5,76 \cdot 10^{-2}a)(34,01 - 0,102b)(21,03 - 0,359c);$$

разбухание по толщине (через 24 ч)

$$Y_{\text{разбух}} = 5,76 \cdot 10^{-3}(14,31 - 2,93 \cdot 10^{-2}a)(18,62 - 3,95 \cdot 10^{-2}b)(13,37 - 4,55 \cdot 10^{-2}c).$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что условиями, обеспечивающими наилучшие характеристики модифицируемых плит, являются продолжительность пропитки 60 с (фактор *a*), температура термообработки 170 °С (фактор *b*) и продолжительность термообработки 7 ч (фактор *c*). Отметим, что при повышенных температурах ускоряются процессы структурирования. Образующийся пространственно-структурированный полимерный каркас способствует снижению выделения формальдегида из изделий [9], придает ДВП не только улучшенные гидрофобные свойства, но и повышенные прочностные показатели.

Содержание модифицированной нефтеполимерной смолы в ДВП в зависимости от технологических условий проведения процесса пропитки и последующей термообработки изменялось в достаточно широком интервале от 5,1 до 14,5 % от массы плиты.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений представлено в табл. 4 и показывает их хорошую сходимость.

Таблица 4

**Расчетные и экспериментальные значения показателей ДВП, полученные при оптимальных значениях факторов**

Показатель	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Погрешность определения, %
Предел прочности при изгибе, МПа	36,9	38,2	3,5
Водопоглощение, %	14,8	13,1	11,5
Разбухание по толщине, %	11,4	10,3	9,6

На основании визуального осмотра срезов пропитанных образцов ДВП можно сделать вывод о равномерном распределении модифицированной нефтеполимерной смолы в объеме получаемой плиты, заполнении всех производственных дефектов, микро- и макропор.

Применение для повышения гидрофобных свойств и прочностных показателей ДВП продуктов, полученных из отходов и побочных продуктов нефтехимического производства, позволяет решать вопросы, не только касающиеся улучшения свойств изделий, но и вопросы экологического характера.

*Выводы*

1. Пропитка ДВП нефтеполимерной смолой, модифицированной отходом производства бутадиен-стирольных каучуков, позволяет улучшить водоотталкивающие свойства плитных материалов и повысить их прочность при изгибе.

2. Установлено, что наилучшие результаты у пропитанных ДВП достигались при температуре пропитки 60 °С, температуре термообработки 170 °С и продолжительности термообработки 7 ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахназарова С.Л., Кафаров В.В.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1985. 328 с.
2. Горение, деструкция и стабилизация полимеров / Под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Научные основы и технологии, 2008. 422 с.
3. *Грасси Н., Скотт Дж.* Деструкция и стабилизация полимеров. М.: Мир, 1988. 446 с.
4. *Думский Ю.В.* Нефтеполимерные смолы: учеб. пособие. М.: Химия, 1988. 168 с.
5. *Пчелинцев В.В.* Термоокислительная деструкция диеновых каучуков. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986. 52 с.
6. Сополимеры на основе кубовых остатков ректификации стирола – модификаторы древесины / С.С. Никулин [и др.] // Лесн. журн. 2002. № 2. С. 77–84. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Черная А.Н., Никулин С.С.* Модификация нефтеполимерной смолы из фракции C<sub>9</sub> вторичным пенополистиролом и ее применение для защитной обработки древесины // Хим. пром-сть сегодня. 2009. № 4. С. 28–33.
8. *Черная А.Н., Никулин С.С.* Модификация нефтеполимерной смолы из фракции C<sub>9</sub> малеиновой кислотой и ее применение для защитной обработки древесины // Хим. пром-сть. 2007. Т. 84, № 7. С. 340–346.
9. *Роффазль Э.* Выделение формальдегида из древесностружечных плит. М.: Экология. 1991. 160 с.

Поступила 22.05.12

*A.I. Dmitrenkov<sup>1</sup>, O.N. Filimonova<sup>2</sup>, S.S. Nikulin<sup>2</sup>, G.Yu. Vostrikova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Voronezh State Academy of Forestry and Technologies

<sup>2</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies

<sup>3</sup>Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

**Modification of Petroleum Resin Based on C<sub>9</sub> Fraction by Styrene-Butadiene Rubber Waste and its use for Protective Treatment of Fiberboard**

The paper describes a method of modifying petroleum resin based on C<sub>9</sub> fraction and its use to improve the properties of fiberboard as well as water and moisture resistance of natural wood. The results indicate that the obtained impregnated materials can improve water-repellent properties of fiberboard and wood as well as increase fiberboard flexural strength.

*Keywords:* industrial waste, composite materials, hydrocarbon fraction C<sub>9</sub>, polymeric petroleum resin, coagulum, styrene-butadiene rubber, modification, impregnating compositions, fiberboard, aspen.

УДК 676.012.1-50

**В.П. Сиваков, И.А. Партин**

Уральский государственный лесотехнический университет

Сиваков Валерий Павлович родился в 1942 г., окончил в 1971 г. Уральский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 200 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.  
E-mail: sivakov@usfeu.ru



Партин Илья Александрович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Уральский государственный лесотехнический университет, старший преподаватель УГЛТУ. Имеет более 20 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.  
E-mail: metod@usfeu.ru



### **КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ МОДЕЛИ ДЕФОРМАЦИИ СУСПЕНЗИИ В ПИТАТЕЛЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Представлены методика определения критериев подобия модели деформации суспензии в каналах питателя высокого давления и формулы для расчета масштабов подобия модели реальному объекту по площади поперечного сечения, материалу, внешним силам и времени.

*Ключевые слова:* питатель, суспензия, коммутация, модель, трубопровод.

Роторные питатели высокого давления установок непрерывной варки целлюлозы являются объемными гидравлическими машинами. Суспензия из щепы и щелока совершает в питателе высокого давления два вида движения: поступательное относительно ротора и вращательное вместе с ротором. Процесс перехода суспензии от одного вида движения к другому называется коммутацией. Коммутация происходит при быстром сообщении канала ротора для суспензии низкого давления с трубопроводом, заполненным суспензией высокого давления, а также при прохождении процесса в противоположном направлении. Рассмотрим положение канала ротора питателя высокого давления до коммутации и в режиме коммутации с патрубками щелока высокого давления. До коммутации герметизированный канал ротора (рис. 1, *а*) содержит пробку сырья объемом  $V_{C1}$  (70 % технологической щепы и 30 % свободно перемещаемого щелока) при низком давлении  $P_{H1}$ . В режиме коммутации (рис. 1, *б*) в канал ротора *1* из патрубка *8* через дроссельную проточку *7* поступает щелок высокого давления  $P_{H2}$ . Пробка сырья обладает упругостью и вязким затуханием.

© Сиваков В.П., Партин И.А., 2013

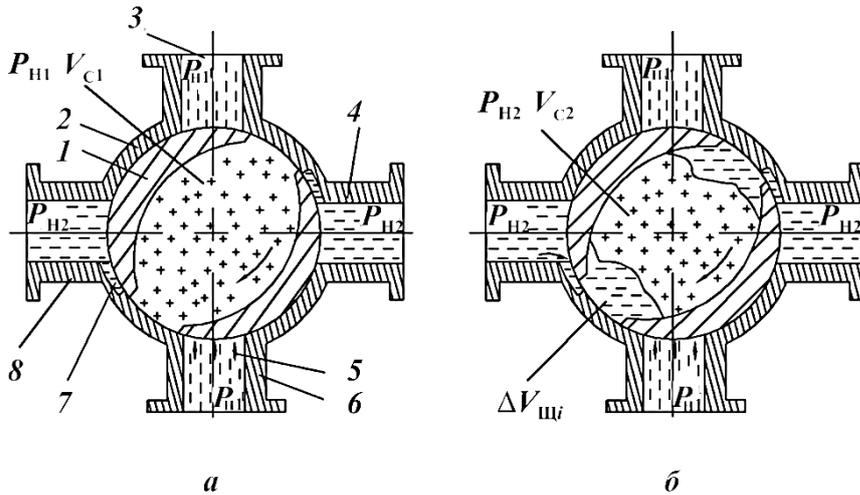


Рис. 1. Схемы положения канала ротора питателя высокого давления до коммутации с патрубками выгрузки суспензии (а) и в режиме коммутации (б): 1 – ротор; 2 – корпус питателя высокого давления, 3 и б – патрубки подачи суспензии и отвода щелока низкого давления; 7 – дроссельная проточка; 4 и 8 – патрубки подачи щелока высокого давления и выгрузки суспензии; 5 – сито ( $P_{Н1}$  – суспензия и щелок низкого давления;  $P_{Н2}$  – суспензия и щелок высокого давления;  $V_{С1}$  и  $V_{С2}$  – объемы суспензии в канале ротора до и при коммутации;  $\Delta V_{щi}$  – дополнительный объем щелока, поступающего в канал ротора при  $i$ -м периоде выравнивания давления)

При выравнивании давления начальный объем пробки сырья  $V_{С1}$  уменьшается до  $V_{С2}$ . В канал ротора поступает дополнительный объем щелока высокого давления  $\Delta V_{щi}$ . Процесс выравнивания давления происходит в режиме затухающих колебаний (рис. 2).

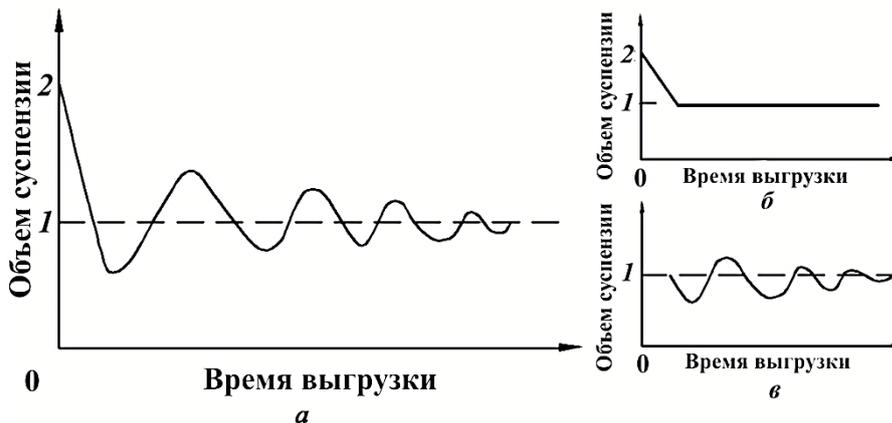


Рис. 2. Схемы изменения объема пробки сырья в канале ротора при коммутации режима выгрузки: а – суммарное действие статических и динамических нагрузок; б, в – соответственно действие статических и динамических нагрузок питателя высокого давления при выгрузке; 1 – конечный объем, 2 – начальный объем

Поскольку давление в трубопроводе поддерживается насосом циркуляции, а объем трубопровода во много раз больше объема канала ротора, принимаем, что при выравнивании давлений  $P_{H2}$  не изменяется. По окончании выравнивания давлений между каналом ротора и патрубками высокого давления объем пробки сырья равен  $V_{C2}$  при давлении  $P_{H2}$ . Поскольку  $V_{C2} < V_{C1}$ , а масса пробки сырья не изменилась при выравнивании давления, происходит увеличение плотности пробки. Пробка сырья относится к «жестким» конструкциям, деформации в которых малы. Для жестких конструкций деформации перемещения, напряжения и статически неопределяемые силы являются линейными функциями нагрузок\*. Для линейных функций применим принцип суперпозиции (каждую нагрузку можно прикладывать отдельно, причем эффект комбинированного нагружения равен суммарному воздействию отдельных сил). Расчленим суммарную нагрузку на пробку сырья (рис. 2, а), на статическую (рис. 2, б) и динамическую составляющие (рис. 2, в). Отметим, что динамическая составляющая возникает только в процессе стабилизации конечного объема суспензии ( $I$  на рис. 2, в).

Статическая составляющая нагружения воздействует на пробку сырья со значительным перепадом давления (от 0,2 до 1,4 МПа), динамическая составляющая имеет значительно меньший перепад давлений (до 0,2 МПа). Затухание колебаний объема пробки сырья происходит за отрезок времени, меньший периода коммутации канала ротора с пробкой сырья низкого давления и патрубков трубопровода высокого давления. Для приближенного изучения влияния давления, времени периода коммутации и гидромодуля на изменение плотности пробки сырья можно ограничиться только моделированием характеристик статической составляющей нагружения. Модели, спроектированные на основе подобия для линейно-упругих конструкций, можно применять для исследования конструкций из нелинейного материала, включая пластическую область. Для этого необходимо, чтобы материалы модели и реального объекта имели одинаковые безразмерные зависимости между напряжениями и деформациями и одинаковые схемы нагружения\*. При статическом нагружении (рис. 2, а) любая компонента деформации  $\varepsilon$  пробки сырья в точке  $x_i$  может быть выражена в виде

$$\varepsilon = f(\ell, x_i, \lambda_i, F, E, \nu), \quad (1)$$

где  $\ell$ ,  $\lambda_i$  – соответственно длина и средняя ширина поперечного сечения канала;  
 $x_i$  – произвольная координата пробки сырья;  
 $F$  – внешняя сила от перепада давлений;  
 $E$  – модуль упругости пробки сырья;  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона пробки сырья.

\*Кобаяси А. Экспериментальная механика. В 3 т. / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. Т. 2. 552 с.

С помощью анализа размерности получаем

$$\varepsilon = \frac{F}{E\ell^2} \varphi\left(\frac{x_i}{\ell}, \frac{\lambda_i}{\ell}, \nu\right), \quad (2)$$

где  $\varphi\left(\frac{x_i}{\ell}, \frac{\lambda_i}{\ell}, \nu\right)$  – функция  $\pi$ -переменных, включающая только безразмерные члены.

Условия подобия находим, приравнявая  $\pi$ -переменные в правой части уравнения (2) для модели и пробки сырья в канале ротора питателя высокого давления реального объекта. Равенство первых двух  $\pi$ -переменных  $\left(\frac{x_i}{\ell}$  и  $\frac{\lambda_i}{\ell}\right)$

возможно при условии, что между моделью и реальным объектом существует геометрическое подобие как формы, так и координат. Геометрическое подобие формы и координат приближенно определяется масштабом площади поперечного сечения. В питателях высокого давления площадь поперечного сечения  $\lambda\ell = \text{const}$ , тогда и для модели зададим  $\lambda_m\ell_m = \text{const}$ . При этих условиях масштаб площади поперечного сечения:

$$n_A = \frac{\lambda\ell}{\lambda_m\ell_m}. \quad (3)$$

Материал пробки сырья в модели и в реальном объекте принимаем одинаковым:

$$n_\nu = \frac{\nu}{\nu_m} = 1. \quad (4)$$

Тогда графики зависимости относительных напряжений  $\sigma$  от деформации ( $\sigma/E$  от  $\varepsilon$ ) также будут одинаковыми. В пластической области деформации не являются однозначной функцией напряжений. Для выполнения условий подобия  $E = E_m$  нагружение модели должно происходить по тому же режиму, что и соответствующее нагружение реального объекта. Отсюда следует, что  $F_m/\lambda_m\ell_m = F/\lambda\ell$ . Масштаб сил должен соответствовать соотношению

$$n_F = \frac{\lambda\ell}{\lambda_m\ell_m}. \quad (5)$$

При идентичной схеме нагружения периоды нагружения также следует принимать равными, т.е.  $t = t_m$ , тогда

$$n_t = \frac{t}{t_m} = 1. \quad (6)$$

Таким образом, при разработке модели для исследования процесса деформации суспензии в питателе высокого давления компоненты деформации должны удовлетворять следующим масштабам:

$$n_A = \frac{\lambda \ell}{\lambda_m \ell_m}; \quad n_v = 1; \quad n_F = \frac{\lambda \ell}{\lambda_m \ell_m}; \quad n_t = 1.$$

Модель, сконструированная с соблюдением указанных масштабов, будет по условиям теории подобия приближенно удовлетворять реальному объекту.

Поступила 17.01.12

*V.P. Sivakov, I.A. Partin*

The Ural State Forest Engineering University

### **Similarity Criteria of Suspension Deformation Model in a High-Pressure Feeder**

The paper presents a technology for defining similarity criteria of suspension deformation model in a channel of a high-pressure feeder. Formulas were devised to calculate the degree of similarity of the model to the real object in terms of cross-section area, material, external force and time.

*Keywords:* feeder, suspension, commutation, model, pipeline.

---

---

УДК 676.022.04

***Е.В. Новожилов, Д.Г. Чухчин, Е.В. Смирнов, Е.А. Варакин, И.В. Тышкунова***

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, чл.-кор. РАН, лауреат премии им. М.В. Ломоносова. Имеет около 200 научных трудов в области технологии комплексной переработки сульфитных и сульфатных щелоков, ферментных технологий в химической переработке древесины, технологий очистки сточных вод.

E-mail: noev50@gmail.com



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 научных работ в области химической переработки древесины.

E-mail: dimatsch@mail.ru



Смирнов Евгений Валерьевич родился в 1988 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры биотехнологии САФУ. Имеет 5 научных работ в области использования вторичного сырья.

E-mail: biotech@narfu.ru



Варакин Евгений Александрович родился в 1988 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры биотехнологии САФУ. Имеет 4 научные работы в области технологий очистки сточных вод.

E-mail: varakin.ev@yandex.ru



Тышкунова Ирина Владимировна окончила в 2012 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, стажер-исследователь кафедры биотехнологии САФУ. Имеет 3 научные работы в области использования ферментов для модификации свойств целлюлозных волокон.

E-mail: biotech@narfu.ru



---

© Новожилов Е.В., Чухчин Д.Г., Смирнов Е.В., Варакин Е.А., Тышкунова И.В., 2013

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ И СОСТОЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ КРАХМАЛЬНОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ГОФРОКАРТОНЕ\*

Изучено распределение и состояние компонентов отработанного крахмального связующего в структуре гофрокартона.

*Ключевые слова:* гофрокартон, макулатура, крахмал, электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия.

### *Введение*

В производстве гофротары различные виды крахмала используются для повышения прочности, склейки слоев картона, поверхностной проклейки [1]. Клей на основе алкилдимеркетенов, применяемый для проклейки бумажной массы в нейтральной среде, также содержит в своем составе катионный крахмал [1].

Гофрокартон представляет собой материал, состоящий из нескольких чередующихся слоев гофра и плоского слоя. Отдельные слои склеивают суспензией нативного крахмала, содержащей в своем составе зерна крахмала и крахмальный клейстер [1, 3]. Для некоторых видов картона расход такого крахмального связующего может составлять 20...50 кг/т волокна [6]. В состав крахмального связующего входят нативный крахмал, клейстеризованный крахмал, гидроксид натрия, бура (тетраборат натрия  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), вода [3]. Крахмальный клейстер обладает высокой клеящей способностью, обеспечивает хорошее соединение слоев благодаря своей способности проникать в структуру бумаги. Основным компонентом связующего являются зерна нативного крахмала (около 80 %), которые обретают способность к клейстеризации и образованию сил сцепления под действием температуры при формировании многослойного гофрокартона. Важно отметить, что применение связующего на основе крахмала позволяет относительно легко вновь разделить гофрокартон на волокна для повторного использования.

Целью работы являлась оценка распределения и состояния компонентов отработанного крахмального связующего в структуре гофрокартона.

### *Методическая часть*

В экспериментах использовали образец гофрокартона толщиной 2,84 мм с гофром типа В (мелкий), изготовленного из макулатуры. Для данного вида картона характерен высокий расход крахмального связующего, поэтому легче

---

\*Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России и финансовой поддержке гранта для молодых ученых компании ОПТЭК.

оценить изменения в его составе и свойствах. Снимки торцевого среза гофрокартона в месте склейки листа картона и вершины гофра получены на электронном микроскопе SIGMA VP (компания «ZEISS»).

От гофрокартона в месте склейки слоев вручную отделяли плоский слой толщиной 0,22 мм. На внутренней стороне этого слоя изучали состояние крахмального связующего в клеевом шве, оставшемся после отрыва гофра. Поверхность образца картона исследовали на атомно-силовом микроскопе MultiMode 8 («Brucker») с использованием кремниевого кантилевера, легированного сурьмой ( $k = 20 \dots 80$  Н/м;  $f_0 = 342 \dots 365$  кГц; TESP, «Veeco Instruments») в режиме PeakForce. Снимки получали на воздухе в термостатируемом помещении при температуре 23 °С. Сканировали участки картона и клеевого шва размером  $1 \times 1$  мкм. Определяли рельеф поверхности, модуль упругости и силы адгезии кантилевера к поверхности картона и крахмального клея. Полученные снимки обрабатывали с помощью программы Nanoscope Analysis.

Из плоского слоя картона вырезали квадраты размером  $3 \times 3$  см, помещали в чашку Петри и заливали дистиллированной водой в расчете на концентрацию волокна 3 %. Пробы выдерживали при температуре 20 °С в течение 1,5 ч. Ферментативную деструкцию клеевого слоя проводили с использованием препарата  $\alpha$ -амилазы Aquazym 120 L («Novozymes A/S», Дания). Активность фермента по данным компании – 120 KNU/г, оптимум для действия  $\alpha$ -амилазы: pH 5,5 ... 6,5, температура 65 ... 75 °С. Образец обрабатывали при pH 6,0 с расходом фермента 3 кг/т волокна в тех же условиях, что и в опыте с водой. Образцы картона после взаимодействия с водой и ферментом высушивали в лиофильной сушилке Labconco и исследовали с применением микроскопа SIGMA VP.

#### Обсуждение результатов

На торцевом срезе гофрокартона видно распределение крахмального связующего в месте склейки плоского слоя и гофра (рис. 1). Часть связующего хотя и участвует в образовании клеевого шва между слоями картона, но с волокнами непосредственно не контактирует.

После механического отделения плоского слоя на нем отчетливо проступали полосы от крахмального связующего в местах приклеивания гофра, представлявшие собой застывший слой клейстера. При рассмотрении в оптический микроскоп на сухих волокнах, механически отделенных от плоского слоя, после добавления раствора йода были видны окрашенные фрагменты крахмала.

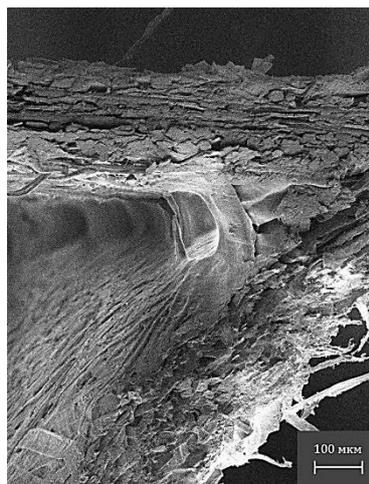


Рис. 1. Торцевой срез гофрокартона

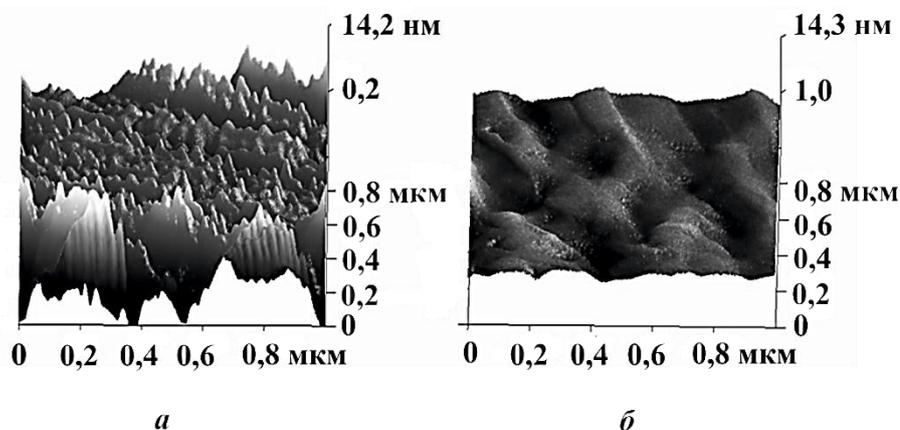


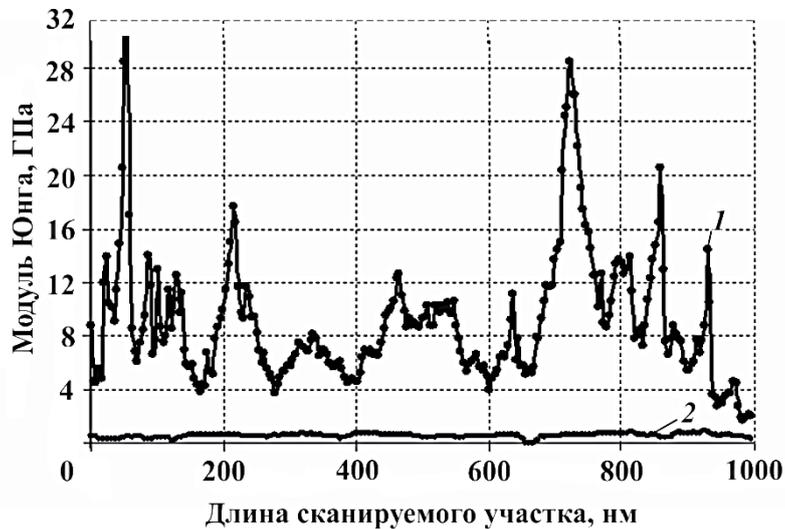
Рис. 2. Фотография трехмерного изображения участков поверхности слоя картона (*а*) и клеевого шва (*б*)

Для изучения поверхности целлюлозных волокон с адсорбированным катионным крахмалом ранее применялся метод атомно-силовой микроскопии, который позволял оценить структуру и некоторые свойства слоя крахмала [6]. Этот же метод был использован нами для характеристики крахмального связующего в месте склейки слоев гофрокартона. Рельеф поверхности листа картона и клеевого шва очень неоднороден, перепад высот между выступами и впадинами значителен, что затрудняет определение профиля с помощью атомно-силовой микроскопии. На выбранных для измерения участках определена топография поверхности волокон картона и слоя клейстера (рис. 2). Наблюдается очевидное внешнее различие в строении поверхности крахмального клейстера и волокон макулатурной массы. Структура засохшего слоя клейстера более однородная и гладкая, с плавными переходами от вершин к впадинам, размеры которых на изученных участках по высоте сопоставимы с неровностями на поверхности волокна.

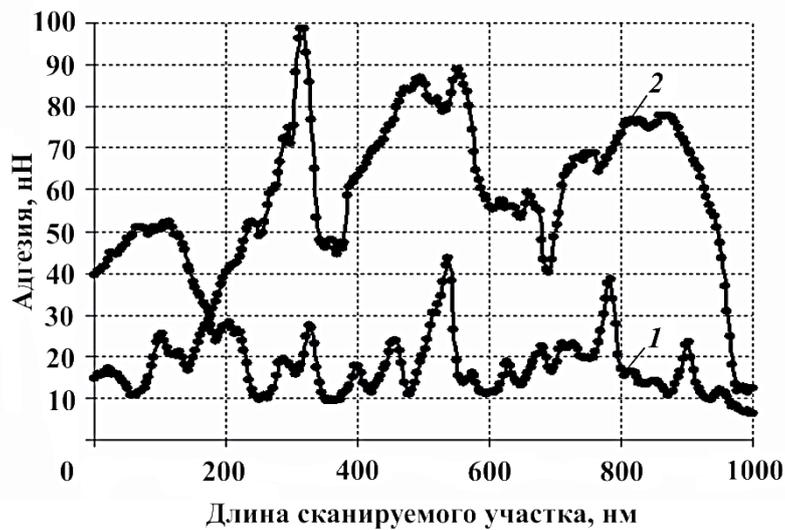
Крахмальное связующее, кроме выполнения основной функции, связанной со склеиванием слоев картона, способствует усилению жесткости как самих волокон, так и в целом структуры гофрокартона, что имеет большое значение для таких показателей прочности готовой продукции, как сопротивление торцевому и плоскостному сжатию.

Модуль Юнга отдельных участков клеевого шва находился в пределах от 0,3 до 0,7 ГПа (рис. 3, *а*). Этот же показатель, измеренный с наружной и внутренней сторон плоского слоя картона, изменялся очень значительно, но в основном находился в пределах от 3,0 до 12,0 ГПа, что примерно в 10 раз выше, чем у слоя клейстера.

Была оценена сила адгезии кремниевого кантилевера к поверхности исследуемых образцов. На отдельных участках картона она широко варьирует: в некоторых местах составляет 40 ... 45 нН (рис. 3, *б*), а в области клеевого шва достигает 100 нН, т. е. примерно в 2 раза выше.



*a*



*б*

Рис. 3. Профиль поверхности слоев картона и клеевого шва (клейстера) на исследуемом участке; *a* – модуль Юнга, *б* – сила адгезии; 1 – картон; 2 – клей

Технологически важным свойством крахмального связующего является гидрофобность, которая достигается добавлением буры и высушиванием

компонентов клея при высокой температуре в процессе изготовления гофрокартона. Для оценки этой характеристики образец плоского слоя картона выдерживали в воде при температуре 20 °С в течение 1,5 ч, затем лиофильно сушили, чтобы сохранить структуру компонентов крахмального связующего. На фотографии, в месте склейки плоского слоя гофрокартона с флютингом, просматривается структура клеевого шва, которая имеет вид застывшей пены, образовавшейся после отверждения клейстера (рис. 4, *a*).

Видимой деструкции, трещин, разрывов слоя клейстера после выдерживания в воде не отмечено. Это означает, что крахмальное связующее обладает достаточно высокой гидрофобностью. Если набухание клеевого слоя в воде и имеет место, то оно выражено крайне слабо. Уже отмечалось [4], что при разволокнении макулатуры в холодной воде отработанный крахмал набухает медленно, основная часть крахмалопродуктов остается связанной с волокном.

Ранее было показано [4, 5], что селективное удаление крахмала с поверхности волокон возможно при действии амилолитических ферментов. Для деструкции крахмального связующего образцы плоского слоя были обработаны  $\alpha$ -амилазой при температуре 20 °С. Оказалось, что высокая гидрофобность сшитого бурой крахмала не препятствовала действию фермента. Даже при низкой температуре  $\alpha$ -амилаза легко разрушала слой клейстера, в результате ранее видимые невооруженным глазом следы крахмального клея на поверхности плоского слоя стали практически незаметными. После ферментативного удаления клейстера оказались доступными для наблюдений расположенные среди волокон деструктированные зерна нативного крахмала (рис. 4, *б*). Потеря зернами крахмала правильной овальной формы свидетельствует о начале процесса их клейстеризации, в результате они становятся активным компонентом связующего и усиливают склеивание слоев гофрокартона.

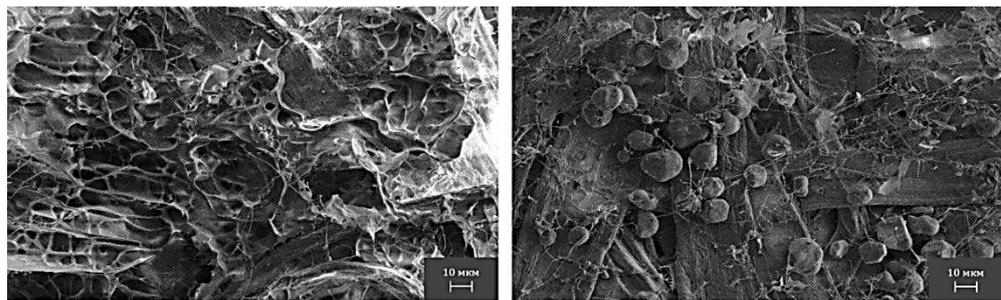
*a**б*

Рис. 4. Образец плоского слоя гофрокартона после выдерживания в воде (*a*) и обработки  $\alpha$ -амилазой (*б*)

Можно предположить, что при разволокнении гофротары в первую очередь перейдет в оборотную воду та часть крахмала, которая расположена между слоями картона, но прямо с волокнами не связана. Частично разрушенные зерна крахмала, слабо связанные с волокнами, при механическом воздействии в процессе роспуска и размола, скорее всего, будут удалены в водную среду. Компоненты отработанного крахмала, оказавшиеся в оборотной воде, постепенно набухают, разрушаются до более мелких фрагментов, участвуют в образовании анионных загрязнений, что приводит к серьезным затруднениям в производстве картонно-бумажной продукции на основе макулатурной массы из гофротары [1, 2].

#### *Выводы*

1. В месте склейки слоев часть крахмального связующего непосредственно с волокнами не связана.
2. Клеевой шов между слоями гофрокартона образован крахмальным клейстером, частично разрушенные зерна крахмала распределены среди волокон.
3. Слой клейстера образует структуру типа пены, обладает высокой гидрофобностью, частично сохраняет способность к адгезии, легко подвергается ферментативной деструкции  $\alpha$ -амилазой, имеет меньшую прочность, чем склеенные им слои гофрокартона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 1118 с.
2. Лапин, В.В., Смоляков А.И., Кудрина Н.Д. Загрязнения в бумажной массе из 100 % макулатуры: влияние на степень помола и прочность бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2001. № 7-8. С. 32–34.
3. О технологии приготовления клея для гофрокартона / А.М. Идиатуллин [и др.] // Технология переработки макулатуры: науч. тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево–Правда, 2005. С. 37–40.
4. Проблема переработки макулатуры, содержащей катионные и анионные виды крахмалов / Н.И. Яблочкин, Н.И. Ковернинский, М.Д. Овчинников, Д.А. Дулькин // Технология переработки макулатуры: научн. тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево–Правда, 2005. С. 19–21.
5. Ферментативная модификация фракций макулатурной массы из гофротары / Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков, Д.Н. Пошина, В.П. Чертовская // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 106–115. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Характеристика макулатурного волокна после ферментативного удаления крахмала / А.В. Кулешов, А.С. Смолин, Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков // Лесн. журн. 2009. № 5. С. 115–120. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 04.03.13

*E.V. Novozhilov, D.G. Chukhchin, E.V. Smirnov,  
E.A. Varakin, I.V. Tyshkunova*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

**Localization and Component Status of Starch Binder in Test Liner**

Distribution and component status of outgoing starch binder in the structure of test liner were studied.

*Keywords:* test liner, waste paper, starch, electron microscopy, atomic force microscopy.

---

УДК [668.486:66.061.51:634.0.892.6]:51.001.57

**Е.Н. Коптелова, Н.А. Кутакова, С.И. Третьяков**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Коптелова Елена Николаевна окончила в 2004 г. Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 8 печатных работ в области изучения экстрактивных веществ.  
E-mail: elen-koptelova@yandex.ru



Кутакова Наталья Алексеевна окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 50 научных трудов в области технологии сорбентов и экстрактивных веществ.  
E-mail: lesochim@agtu.ru



Третьяков Сергей Иванович родился в 1946 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесохимических производств, зав. кафедрой стандартизации, метрологии и сертификации Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 70 научных трудов в области химической переработки древесины.  
E-mail: lesochim@agtu.ru



## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ МАССОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БЕРЕСТЫ**

Рассмотрены основные стадии массообменного процесса экстрагирования бересты, предложен алгоритм расчета и определены коэффициенты внутренней диффузии.

*Ключевые слова:* береста, бетулин, массообмен, диффузия, массоотдача, экстрактивные вещества.

В березовой коре (бересте) содержится бетулин, который может найти самое разнообразное применение [2]. Экстрагирование бересты с целью выделить бетулин и другие экстрактивные вещества (ЭВ) является массообменным процессом, осложненным капиллярно-пористой структурой.

Вопросами математического описания скорости диффузионного извлечения целевых компонентов из твердых пористых тел занимались различные авторы. При этом в основном использовались методы аналогии переноса теплоты и массы и решения полученного таким образом уравнения диффузии с соответствующими граничными и начальными условиями [3]. Анализ возмож-

ных вариантов решения приведен в монографии [1]. Подробно проанализированы процессы, идущие в капиллярно-пористых телах [5].

Кинетику переноса вещества из твердого тела в жидкую фазу можно описать обобщенной зависимостью

$$(X_n - \bar{X}) / (X_n - y_0) = f(\text{Fo}_d, \text{Bi}, \Gamma, b), \quad (1)$$

где  $X_n, \bar{X}, y_0$  – концентрация распределяемого вещества соответственно начальная и текущая в твердом теле и в жидкой фазе;

$\text{Fo}_d$  – диффузионный критерий Фурье,  $\text{Fo}_d = D\tau/l^2$ ;

$D$  – коэффициент внутренней диффузии (массопроводности);

$\tau$  – продолжительность процесса экстрагирования;

$l$  – определяющий линейный размер (для пластины – половина толщины, для шара и цилиндра – радиус  $R$ );

$\text{Bi} = \beta l/D$  – критерий Био;

$\beta$  – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе;

$\Gamma$  – симплекс геометрического подобия, характеризующий форму и размеры частиц;

$b$  – отношение суммарного объема твердых частиц к объему жидкой фазы.

Явный вид зависимости (1) при условии постоянства критерия  $\text{Bi}$  приведен в работе [1]. Для периодического, прямоточного и противоточного процессов решение имеет следующий вид:

$$\frac{X_n - \bar{X}}{X_n - y_0} = \frac{1}{1+b} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(v+1) \exp(-\mu_n^2 \text{Fo}_d)}{\left(1 + \frac{2}{\text{Bi}}\right) \mu_n^2 - 2(v+1) \left[ \frac{\mu_n^2}{\text{Bi}} - 2(v+1)b \right] + \left[ \frac{\mu_n^2}{\text{Bi}} - 2(v+1)b \right]^2}, \quad (2)$$

где  $n$  – числа натурального ряда;

$v = \frac{1}{2}(\Gamma - 1)$ , для пластины  $v = -\frac{1}{2}$ , для цилиндра  $v = 0$ , для сферы  $v = \frac{1}{2}$ ;

$\mu_n$  – корни характеристического уравнения.

При  $\text{Bi} \rightarrow \infty$  (процесс лимитируется внутренней диффузией) уравнение (2) приобретает следующий вид:

$$\frac{X_n - \bar{X}}{X_n - y_0} = \frac{1}{1+b} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(v+1) \exp(-\mu_n^2 \text{Fo}_d)}{\mu_n^2 + 4(v+1)^2 b(1+b)},$$

при  $\text{Bi} \ll 1$  (процесс лимитируется внешней диффузией):

$$\frac{X_n - \bar{X}}{X_n - y_0} = \frac{1}{1+b} \left[ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\mu_n^2 \text{Fo}_d) \right].$$

Уравнение (2) можно записать в упрощенном виде:

$$\frac{X_n - \bar{X}}{X_n - y_0} = \frac{1}{1+b} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 \text{Fo}_d). \quad (3)$$

Здесь  $A_n$  – параметр, определяющий форму частицы.

Уравнения для определения  $A_n$  и  $\mu_n$ , полученные для тел разной формы, приведены в табл. 1 [1, 3, 5].

Таблица 1

Параметр	Уравнение для тела в форме		
	пластины	цилиндра	шара
$A_n$	$A_n = \frac{2}{\left(\frac{\mu_n^2}{Bi} - b\right)^2 + \mu_n^2 \left(\frac{1}{Bi} + 1\right) + b}$	$A_n = \frac{4}{\mu_n^2 + \left(2b - \frac{\mu_n^2}{Bi}\right)^2 + 4b}$	$A_n = \frac{6}{\left(3b - \frac{\mu_n^2}{Bi}\right)^2 + \mu_n^2 \left(1 - \frac{1}{Bi}\right) + 9b}$
$A_n$ при $Bi \rightarrow \infty$	$A_n = \frac{2}{\mu_n^2 + b(1+b)}$	$A_n = \frac{4}{\mu_n^2 + 4b(1+b)}$	$A_n = \frac{6}{\mu_n^2 + 9b(1+b)}$
$\mu_n$	$ctg\mu = \frac{\mu}{Bi} - \frac{b}{\mu}$	$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{\mu}{Bi} - \frac{2b}{\mu}$	$ctg\mu = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\frac{3b}{\mu} - \frac{\mu}{Bi}}$
$\mu_n$ при $Bi \rightarrow \infty$	$tg\mu = -\frac{\mu}{b}$	$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = -\frac{\mu}{2b}$	$ctg\mu = \frac{1}{\mu} + \frac{\mu}{3b}$

Уравнения для определения  $\mu_n$  (характеристические) решаются графически или численными методами. Ряд в правой части уравнения (3) быстро сходится. При экстрагировании растительных материалов критерий  $Fo_d > 0,1$ , поэтому можно ограничиться первым членом ряда, что вносит существенные упрощения в расчет. Первый корень характеристического уравнения для шара выражается формулой

$$\mu_1 = [3Bi(1+b)]^{1/2}.$$

Коэффициент внутренней диффузии  $D$ , входящий в критерии  $Fo_d$  и  $Bi$ , определяется опытным путем. Наиболее доступным способом экспериментального исследования кинетики процесса массообмена в системе твердое тело – жидкость является проведение периодического процесса в аппарате с мешалкой, куда загружаются определенное количество твердого вещества и жидкости и где можно проконтролировать изменение концентрации раствора во времени. Если эксперимент проводится достаточно длительное время, то устанавливается равновесие. При этом принимается, что равновесная концентрация извлекаемого вещества в растворе, заполняющем поры твердого тела, такая же, как в и полученном растворе –  $y_p$ .

При  $\tau \rightarrow \infty$  и  $Fo_d \rightarrow \infty$  из уравнения (3) для периодического процесса ( $y_0 = y_n$ ) имеем

$$\frac{X_n - y_p}{X_n - y_n} = \frac{1}{1+b}, \quad (4)$$

где  $y_p$  – равновесная концентрация в экстракте;  
 $y_n$  – начальная концентрация экстрагента (растворителя).

Отсюда следует:

$$b = (y_p - y_n)(X_n - y_p).$$

Если ограничиться одним членом ряда, то при подстановке  $1/(1 + b)$  из (4) в (3), получим выражение

$$\frac{\bar{X}' - y_p}{X_n - y_n} = B_1 \exp(-\mu_1^2 Fo_d), \quad (5)$$

где  $B_1 = bA_1$ .

Здесь  $\bar{X}'$  – средняя концентрация извлекаемого вещества, находящегося в порах твердого тела в произвольный момент времени. Ей соответствует средняя концентрация раствора  $\bar{y}$ . Согласно условию материального баланса

$$y_p - \bar{y} = b(\bar{X}' - y_p). \quad (6)$$

Правая часть этого равенства определяет относительное количество вещества, которое перешло в экстракт из твердого тела за время от рассматриваемого момента до конца опыта, левая – приращение концентрации раствора за этот же период времени. Из уравнения (5), используя соотношение (6), выразим

$$\frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = B_1 \exp(-\mu_1^2 Fo_d)$$

или

$$\ln \frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = \ln B_1 - \mu_1^2 \frac{D\tau}{l^2}. \quad (7)$$

В качестве линейного размера  $l$  для учета трехмерности процесса массопроводности в анизотропных телах можно применять эквивалентный размер. При этом реальное трехмерное тело условно приводится к эквивалентному одномерному. Анизотропность бересты требует учета неравномерности направлений, по которым идет извлечение. Основным размером бересты является ее размер по толщине образца в радиальном направлении к оси ствола дерева. Однако расчет по пластине не может быть принят, так как именно радиальное направление является наиболее затрудненным для диффузии. Береста обладает защитными свойствами именно в радиальном направлении, и диффузия в этом направлении практически отсутствует. Поэтому расчет массообмена проводится по площади поверхности бересты с учетом свойств, которые она как изотропное тело имеет в поперечном (тангенциальном) направлении. Сопrotивление массопереносу к радиальной и продольной поверхностям заменяется равноценным увеличением пути диффузии распределяемого вещества.

Литературных данных об эффективности извлечения ЭВ через различные поверхности бересты нет. Нами установлено, что скорость диффузии в продольном и радиальном направлениях соответственно в 6 и 16 раз меньше, чем в тангенциальном. Значения коэффициентов анизотропии в бересте, обеспечивающих наилучшую сходимость экспериментальных и расчетных данных,

определены методом подбора на основе имеющихся литературных данных по анизотропии древесины, результатов микроскопического исследования структуры бересты, выполненного нами, а также сравнительного анализа кинетических кривых при различном соотношении размеров образцов бересты в различных направлениях.

Приведенный радиус частички бересты

$$\frac{1}{R^2} = \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{(6R_2)^2} + \frac{1}{(16R_3)^2}, \quad (8)$$

где  $R_1, R_2, R_3$  – полудлина ребра частички соответственно в тангенциальном, продольном и радиальном направлениях.

В соответствии с данными табл. 1 для преобразованной сферической частицы получены следующие уравнения:

$$\frac{6}{\left(3b - \frac{\mu_1^2}{Bi}\right)^2 + \mu_1^2 \left(1 - \frac{1}{Bi}\right) + 9b} = B_1; \quad (9)$$

$$\operatorname{ctg} \mu_1 = \frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\frac{3b}{\mu_1} - \frac{\mu_1}{Bi}}; \quad (10)$$

$$\mu_1^2 \frac{D}{R^2} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (11)$$

Для определения  $\mu_1$  из (9) и (10) получаем

$$\left( \frac{\mu_1^2}{-1 + \mu_1 \operatorname{ctg} \mu_1} + 0,5 \right)^2 + \mu_1^2 = 6b \left( \frac{1}{B_1} - 1 \right) + \frac{1}{4}. \quad (12)$$

По уравнению (12) графическим или численным методом находится  $\mu_1$ , по уравнению (11) –  $D$ , по уравнению (10) – критерий  $Bi$ . Критерий Фурье рассчитывается на основании полной продолжительности опыта с помощью формулы  $Fo = D\tau/R^2$ .

Целью экспериментальных исследований являлось определение лимитирующей стадии процесса массообмена и коэффициентов внутренней диффузии в процессе извлечения экстрактивных веществ (ЭВ) и бетулина при экстрагировании бересты.

В качестве исходного сырья применяли техническую бересту, полученную при окорке фанерного кряжа на Архангельском фанерном заводе. Содержание ЭВ в бересте составляло 34 %, бетулина – 25 %. Количественное содержание бетулина в экстракте определяли с помощью метода ВЭЖХ. Для проведения опытной экстракции готовили модельные образцы бересты с фиксированными (в тангенциальном, продольном и радиальном направлениях) размерами.

*Влияние гидродинамических условий на процесс экстрагирования бересты*

Скорость экстрагирования бересты определяется темпом диффузии из ее внутреннего объема к поверхности и отводом растворенных веществ в окружающую среду, определяемым гидродинамическим режимом движения (перемешивания) экстрагента. Опыты по исследованию влияния гидродинамического режима на массообменные процессы экстрагирования бересты этиловым спиртом при температуре кипения и постоянном жидкостном модуле 10:1 проводили в лабораторном экстракторе, имеющем обратный холодильник и перемешивающее устройство.

Гидродинамический режим в экстракторе характеризуется критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{nd^2}{\nu},$$

где  $n$  – частота вращения мешалки;

$d$  – диаметр мешалки;

$\nu$  – кинематическая вязкость экстракта.

В серии опытов с модельной щепой частоту вращения мешалки изменяли от 100 до 800 об/мин. Кинетические экстракционные кривые показаны на рис. 1.

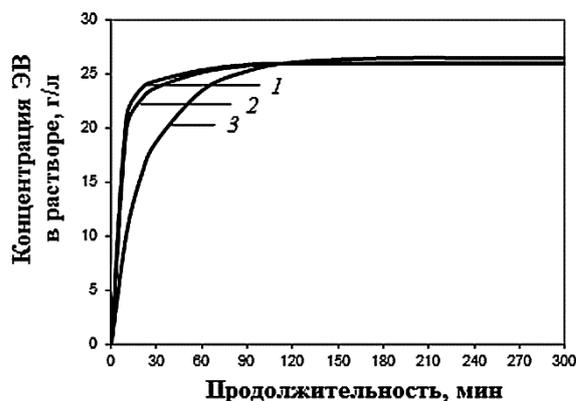


Рис. 1. Кинетические экстракционные кривые при различных значениях критерия Рейнольдса: 1 –  $Re = 32\,000$ , 2 –  $Re = 4\,000$ , 3 – без перемешивания

Полученные результаты показали, что для модельной бересты при различной интенсивности перемешивания наблюдается одинаковая закономерность. В начальный период (до 10 мин) скорость процесса высокая и зависит от гидродинамических условий в аппарате. По мере извлечения ЭВ увеличивается рабочая длина пор и процесс массообмена полностью переходит во внутридиффузионную область. При увеличении критерия  $Re$  более 4 000 массообмен лимитируется только внутренней диффузией, так как экспериментальные кривые на рис. 1 при  $Re = 4\,000$  и  $32\,000$  практически совпадают.

В многочисленных статьях по кинетике экстракции рекомендуется экстракцию бересты и других растительных материалов проводить в течение 5 ч (300 мин). Нами показано, что влияние гидродинамического режима (критерия  $Re$ ) наблюдается только в начальный период экстракции, до 90 мин. Экспериментальные точки в диапазоне от 120 до 300 мин необходимы для подтверждения этого заключения.

*Исследование кинетических закономерностей процесса экстрагирования бересты*

При изучении кинетики процесса массопереноса опыты проводили в условиях, исключая влияние внешней диффузии ( $Re > 4\ 000$ ) на процесс извлечения ЭВ и бетулина. Влияние диффузии исследовали в серии опытов по экстрагированию модельных образцов бересты этиловым спиртом при температуре кипения. Геометрические характеристики для различных образцов бересты и экспериментальные значения коэффициентов внутренней диффузии, определенные по методу, взятому за основу ( $D_1$ ), и по упрощенному алгоритму ( $D_2$ ), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Образец	Средние размеры бересты в тангенциальном, продольном и радиальном направлениях (среднее из 100 замеров), мм	Эквивалентный радиус бересты $R$ , м	Коэффициент внутренней диффузии $D \cdot 10^{11}$ , м <sup>2</sup> /с			
			ЭВ		бетулина	
			$D_1$	$D_2$	$D_1$	$D_2$
Б1	2,6×2,5×1,6	0,00087	1,76	1,76	1,44	1,44
Б2	2,7×5,3×1,6	0,00174	7,28	7,12	5,50	4,91
Б3	5,3×5,2×1,6	0,00177	6,40	6,20	5,76	5,72
Б4	5,0×7,5×1,7	0,00246	12,40	12,00	14,10	14,10
Б5	7,7×2,6×1,5	0,00091	1,97	1,89	1,36	1,32
Б6	2,6×7,4×1,6	0,00224	12,40	12,00	9,03	8,96

Кинетические кривые для различных образцов бересты (рис. 2) показывают, что с увеличением размеров бересты по ширине и длине снижается скорость процесса и уменьшается степень извлечения ЭВ и бетулина.

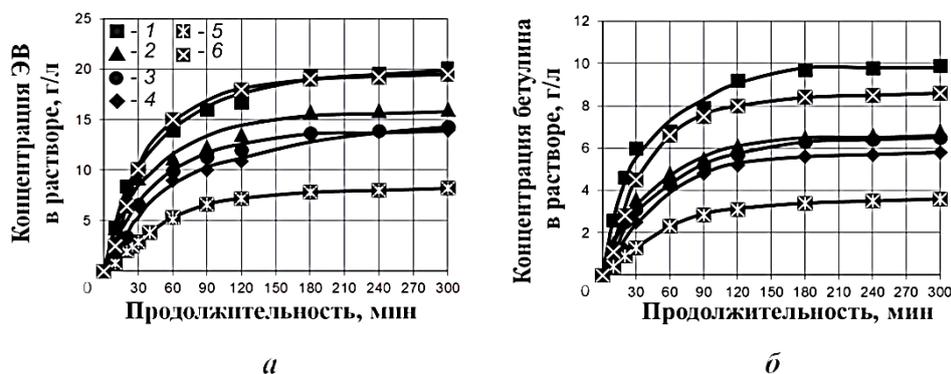


Рис. 2. Кинетические кривые экстракции ЭВ (а) и бетулина (б) из бересты: 1 – Б1, 2 – Б2, 3 – Б3, 4 – Б4, 5 – Б5

В соответствии с уравнением (7) строится графическая зависимость  $\ln[(y_p - \bar{y}) / (X_n - y_n)]$  от продолжительности экстракции  $\tau$ . Так как условия, при которых выведено уравнение (7), соблюдались, то при не очень малых значениях  $\tau$  ( $> 3600$  с) на графике (рис. 3) получается прямая линия. Это область регулярного режима извлечения. В качестве примера на рис. 3 показан характерный вид логарифмической зависимости симплекса концентрации ЭВ от  $\tau$  при опытной экстракции образца бересты Б1 этиловым спиртом.

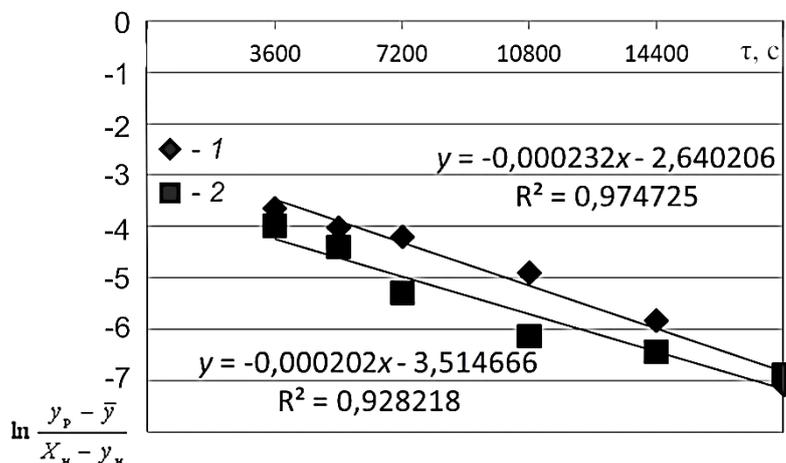


Рис. 3. Зависимость  $f(\tau) = \ln[(y_p - \bar{y}) / (X_n - y_n)]$  при извлечении ЭВ (1) и бегулина (2) из бересты

Экстраполяцией прямой линии  $\ln \frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = f(\tau)$  до  $\tau = 0$  определяли  $B_1$

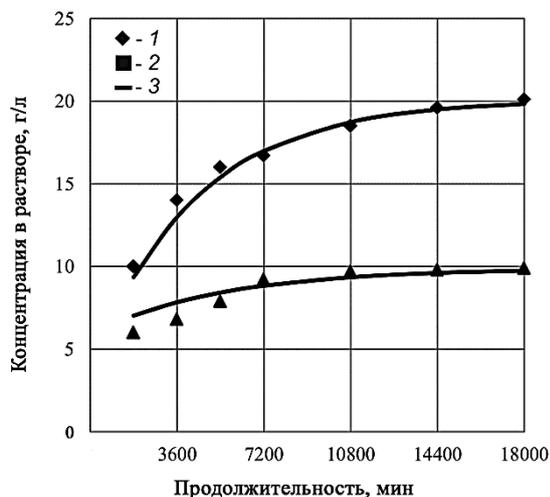
в уравнении (6), а по тангенсу угла  $\alpha$  наклона прямой находили  $\mu_1^2 \frac{D_1}{R^2} = \text{tg} \alpha$ .

По этому уравнению рассчитывали коэффициент внутренней диффузии  $D_1$ .

Сопоставление экспериментальных данных и расчетной кривой экстрагирования для образца бересты Б1 (рис. 4) показывает, что в рабочем интервале времени расхождение результатов не превышает 10 %. Это подтверждает возможность применения предложенного алгоритма для исследования кинетики экстрагирования бересты. Для других образцов бересты получены аналогичные закономерности.

Рассчитанные по опытным данным  $\mu_1 = 2,7 \dots 3,1$  и  $A_1 = 0,590 \dots 0,645$  близки к теоретическим [1, 4, 5] для шара, что подтверждает правильность выбора представления образца бересты в виде шара. В связи с этим был выполнен расчет коэффициентов внутренней диффузии  $D_2$  (алгоритм расчета аналогичен рассмотренному выше) по упрощенному алгоритму (см. табл. 2),

Рис. 4. Сходимость экспериментальных данных (1, 2) с расчетными кривыми (3) экстрагирования ЭВ (1) и бетулина (2)



когда  $\mu_1 = \pi$  и  $A_1 = 6/\pi^2 = 0,608$ , и построен график зависимости логарифма концентрационного комплекса от продолжительности процесса:

$$\ln E_2 = f(\tau), E_2 = (X - X^*) / (X_n - X^*),$$

где  $X$ ,  $X^*$  и  $X_n$  – текущая, равновесная ( $\tau \rightarrow \infty$ ) и начальная ( $\tau = 0$ ) концентрации ЭВ или бетулина в бересте.

На прямолинейном участке определяется тангенс угла наклона графика и по теоретическому значению  $\mu_1 = \pi$  и приведенному радиусу  $R$  рассчитывается коэффициент внутренней диффузии  $D_2$ .

Экспериментальные значения коэффициентов  $D_1$  и  $D_2$  при извлечении ЭВ и бетулина, рассчитанные двумя методами (табл. 2), показывают, что значения  $D_1$  и  $D_2$  близки и могут быть использованы для расчета кинетики процесса экстрагирования бересты этиловым спиртом.

Коэффициент внутренней диффузии находится в степенной зависимости от приведенного радиуса образца бересты: для ЭВ

$$D_1 = 1,49 \cdot 10^{-5} R^{1,94} \text{ (коэффициент корреляции } 0,992);$$

для бетулина

$$D_1 = 4,62 \cdot 10^{-5} R^{2,14} \text{ (коэффициент корреляции } 0,989).$$

Степень извлечения при экстрагировании  $E = 1 - X/X_n$  рассчитывается по уравнению

$$E = E^* (1 - E_1) + E^* (1 + E_1),$$

где  $E_1 = \frac{X - X^*}{X_n - X^*} = B_1 \exp(-\mu_1^2 \frac{D\tau}{R^2})$ ;

$E^* = 1 - X^*/X_n$  – равновесная (максимальная) степень извлечения для бересты заданного размера, определяемая опытным путем.

Коэффициент внутренней диффузии можно использовать для расчета продолжительности процесса экстрагирования бересты этиловым спиртом в промышленных условиях при заданной степени извлечения ЭВ и бетулина:

$$\tau = \frac{R^2}{D\pi^2} \ln \frac{0,608}{E_1}.$$

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность расчета процесса извлечения экстрактивных веществ и бетулина из бересты при постоянных значениях коэффициента внутренней диффузии, установлены зависимости коэффициентов внутренней диффузии от размеров бересты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование (Система твердое тело – жидкость). Л.: Химия, 1974. 256 с.
2. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Определение состава этанольного экстракта бересты // Лесн. журн. 2011. № 6. С. 107–111. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1965. 265 с.
4. Рудобаишта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.
5. Романков, П.Г., Курочкина М.И. Экстрагирование из твердых материалов. Л.: Химия, 1983. 256 с.

Поступила 01.11.12

*E.N. Koptelova, N.A. Kutakova, S.I. Tretyakov*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Study of Mass Transfer Kinetics During Birch Bark Extraction**

Key stages of mass transfer during birch bark extraction are considered; an algorithm for calculating internal diffusion coefficients is proposed.

*Keywords:* birch bark, betulin, mass exchange, diffusion, mass transfer, extractives.

---



УДК 061.75

**РОССИЙСКОЕ ЛЕСОВОДСТВО – ИЗ XX в. В XXI в. –  
РАЗВИТИЕ ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ  
ИЛИ СМЕНА ПАРАДИГМЫ?**

(Посвящается научной деятельности проф. А.В. Побединского  
в связи со 100-летием со дня рождения)

*Исходные принципы преемственности в лесоводственной науке*

Вопросы преемственности в науке, особенно в лесоводстве, несмотря на признание того, что преемственность\* – один из базовых принципов развития науки и оценки научных разработок, реально воспринимаются не всегда однозначно, в том числе нередко из-за различного толкования этого термина и обозначаемого им понятия. С одной стороны, преемственность воспринимается как практически прямое продолжение, эволюционное развитие, совершенствование чего-то, в основе своей сохраняющее все основные черты предшествующего, но если в определенный период времени возникает что-то принципиально отличное от прежнего или, тем более, альтернативное предшествующему, то преемственность как бы отсутствует, прекращается. С другой стороны, в более широком понимании все что «произрастает», происходит из чего-то объективно, обоснованно, оно преемственно, даже если оно (диалектически) по существу отрицает предшествующее (прототип) в связи с дополнением известных и накоплением новых данных об изменяющихся реальных условиях и направлениях процессов динамики лесов, в том числе под управляющим воздействием лесоводственных мероприятий. Такое понимание представляется более приемлемым и системным. На основе этого принципа более или менее удовлетворительно, эффективно и обоснованно решаются новые задачи в лесоводственной науке и создаются новые разработки, отличающиеся от предшествующих, но, как правило, базирующиеся не только на результатах проведенных исследований и экспериментов, но и в большей или меньшей мере на комплексе данных, знаний, существующей реальности (объекте лесоводства) фактов и положений, полученных при решении прежних задач, даже и утративших актуальность.

---

\* Преемственный – осуществляющийся в порядке последовательности от одного к другому.

Непростая реализация этого принципа четко прослеживается в развитии лесоводства на рубеже XX–XXI вв., когда новые задачи лесоводственного обеспечения использования и воспроизводства лесов, связанные с объективными изменениями экологических, социально-экономических условий, а также принципиальных законодательных установок и требований, можно эффективно и в короткие сроки решать, не отказываясь, а базируясь на накопленном за всю историю лесоводства и, особенно, во второй половине XX в. научном потенциале разработок, конечно, с учетом их развития и даже замены под «давлением» объективных данных исследований и обобщения опыта на новые, сохраняющие или отражающие в иной, альтернативной форме, все позитивное, полученное как при подготовке разработки, так и при изучении и оценке последствий ее применения. Это относится ко многим разработкам лесоводства XX в., в том числе подготовленным непосредственно А.В. Побединским или под его руководством, а также при координации научных исследований в течение нескольких десятилетий в головном научно-исследовательском учреждении отрасли. Необходимо подчеркнуть, что в целом результаты исследований и разработки указанного периода – это огромный совокупный потенциал лесоводства, созданный учеными всей страны.

*Условия развития лесоводства в начале XXI в.*

В условиях всеобщей тотальной глобализации, изменений, происходящих в научных представлениях о природе, биосфере, лесах, их сохранении и устойчивом управлении, неистощительном непрерывном использовании, охватывающих все территории и страны целенаправленно с использованием финансовых и законодательных механизмов «конвертации» или поглощения национальных систем лесоводства, сформированная в начале XX в. в системном виде Г.Ф. Морозовым [16] и М.М. Орловым [17, 18] парадигма\* отечественного лесоводства, ориентированная на природные образцы коренных лесов и природных лесообразовательных процессов, природной динамики лесов, развивающаяся практически на протяжении всего XX в. [11, 22, 24, 26, 30, 31, 33 и др.], испытывает в начале XXI в. значительное деформирующее воздействие, хотя абсолютно не противоречит, по существу, подобной ей – глобальной, к которой пришли многие промышленно развитые страны Западной Европы лишь в период последнего десятилетия XX и начале XXI в., представленной в форме устойчивого управления лесами и сохранения биоразнообразия.

Проявляющиеся в законодательно-нормативном удалении от практики существовавшей многие десятилетия лесоводственной терминологии видов и систем лесохозяйственных мероприятий, эти процессы приводят нередко к утрате или принципиальной подмене не только просто терминов, но и обозна-

---

\* Парадигма (гр. *paradigma*) – пример, образец: теория или модель, принятая в качестве образца решения исследовательских задач.

ченных ими понятий, нарушению взаимосвязи, преемственности утверждаемого вновь с предшествующей научно-практической базой, а следовательно, снижению уровня объективной обоснованности и эффективности новых, используемых вариантов лесохозяйственных мероприятий и принимаемых решений в управлении лесами.

Наиболее четко этот процесс проявляется в разрушении системы лесоводственных рубок на протяжении длительного исторического периода, обозначаемых терминами «рубки главного пользования» и «рубки ухода» [12, 26, 33 и др.]. Не считая эту терминологию чем-то исключительно совершенным, тем не менее, на практике (в первую очередь), да и в науке тоже с ней связаны совершенно определенные понятия и мероприятия лесоводства и лесопользования, которые, конечно, не меняются со сменой терминов, а получают неопределенность границ и критериев применения и оценки со всеми негативными последствиями. Отказ от определенных терминов, обозначавших мероприятия лесоводства и лесопользования, многие десятилетия ведет, в определенной мере, к забвению истории, прерывности и неопределенности учета результатов, проведенных мероприятий и началу с «чистого листа» ведения хозяйства, следовательно, к усложнению даже для науки сбора объективных данных, характеризующих влияние тех или иных мероприятий в прошлом на состояние лесов и перспективу их динамики.

Учитывая сложившиеся условия, в том числе связанные со сменой управляющей системой терминологии законодательного (высшего) уровня, задача лесоводства, не выходя за рамки законодательства и не разрушая сущность лесоводственных понятий, отражаемых ими мероприятий, привести систему терминов (и понятийный аппарат лесоводства) в определенное непротиворечивое сопоставимое соотношение с положениями, понятиями и требованиями Лесного кодекса (2006 г.) и обеспечить на этой основе более эффективное использование накопленного на протяжении всей истории отечественного лесоводства научно-практического потенциала для развития и совершенствования лесоводственных мероприятий, в том числе и лесоводственных рубок, объективной оценки их влияния на состояние и динамику леса.

*Общая методологическая оценка исторического пути лесоводства с определением оцениваемых результатов по выделенным периодам*

Все новое, передовое и эффективное в лесоводственной науке, появляющееся в результате исследований, рождается только на базе накопленного в предшествующей истории познания сущности леса, его динамики в изменяющихся условиях в связи с антропогенным воздействием, даже если это новое является альтернативой (отрицанием) предшествующего опыта. Приведенный тезис (принцип) в изучении природы леса и его динамики под влиянием лесоводственных мероприятий, в первую очередь обеспечивающих многоцелевое лесопользование и воспроизводство поколений леса с циклом 50...100 лет и более, вероятно, в лесоводстве имеет особое значение.

Другой важнейшей спецификой объекта лесоводства, определяющей по существу неизбежность использования накопленных знаний о нем и его изменений под любым антропогенным, в том числе управляющим воздействием, является его чрезвычайная сложность в пространстве и во времени (учитывая, что параметры леса, любого его участка, массива и лесного покрова по величине и структуре имеют определенные значения в обязательном сочетании с определенным периодом времени). В связи с этим любая сколь угодно современная модель динамики леса может быть только вероятностной, подлежащей проверке и уточнению (корректировке) во времени.

Следующим фактором, определяющим не только необходимость, но и возможность учета предшествующего опыта, является то, что лес, лесообразующие процессы и динамика леса в целом при любом управляющем антропогенном воздействии в той или иной мере сохраняют свою природную сущность, хотя и меняющуюся в определенных пределах (в рамках леса, до перехода в древесные плантации при применении соответствующих методов и технологий воспроизводства древесной растительности).

Реальная история лесоводства лишь подтверждает безусловное проявление рассматриваемых закономерностей и эффективность базирующихся на них принципов лесоводства. Научные основы лесоводства и лесопользования, заложенные в конце XIX и начале XX в. в результате обобщения (синтеза) всего предшествующего опыта лесоводства и наиболее полно отраженные в работах Г.Ф. Морозова [16], М.М. Орлова [17, 18], послужили исходной базой последующего развития (естественно далеко не прямолинейного) лесоводственной науки и практики в первой половине (до 50–60 гг.) XX в., преимущественно проявившегося в накоплении данных об изменении объектов лесоводства под влиянием относительно новых вариантов воздействия на леса промышленными рубками, а также в связи с развитием «частного лесоводства» (воспроизводства леса на базе лесных культур) и др. направлений.

В последующие годы (с 60–70-х и до конца 80-х гг. XX в.), базируясь на основах научного системного лесоводства начала века, с учетом накопленного в предшествующий период развития экспериментального материала и результатов активных масштабных исследований, проводимых практически на территории всей страны, осуществлялась всесторонняя оценка последствий интенсивных механизированных лесозаготовок и разработка лесоводственных мероприятий по обеспечению лесовозобновления, предотвращения развития эрозийных процессов, сохранения и восстановления водоохраных, защитных, климаторегулирующих свойств и функций лесов [10, 23, 24, 26, 29, 35 и др.].

Несмотря на ряд известных негативных последствий, связанных с проведением механизированных промышленных рубок, особенно концентрированных, в этот период значительное развитие получили лесоводственные мероприятия, обеспечивающие более или менее приемлемую или эффективную взаимосвязь лесопользования – лесовоспроизводства. Наиболее полное обоб-

ценное отражение результаты исследований в этот период получили в работах ведущих лесоводов второй половины XX в. – И.С. Мелехова [10 – 12 и др.] и А.В. Побединского [21 – 26 и др.], координировавшего от ВНИИЛМ лесоводственные исследования отраслевых научно-исследовательских институтов и др. учреждений на территории всей страны, а также разработку и совершенствование нормативной базы и подготовку документов, реализующих ее использование и применение на практике (Основные положения, Правила рубок главного пользования и др.).

*Основные задачи лесоводства начала XXI в.*

В начале XXI в. в связи с изменениями экологических и социально-экономических условий в стране и в мире, а также с подготовкой и принятием Лесного кодекса (2006 г.) и для его реализации в практике эффективного управления лесами, лесным хозяйством и использованием лесов, лесоводством решается очередная проблема обеспечения интенсификации непрерывного, неистощительного лесопользования при сохранении и восстановлении экологического и ресурсного потенциала лесов. В рамках этой проблемы в качестве основных выделяются следующие задачи:

экологически безопасная интенсификация лесовоспроизводства – лесопользования;

улучшение экологических условий, окружающей среды в пределах ландшафтов и других природных и природно-антропогенных территориальных образований, особенно безлесных и малолесных, восстановление экологического потенциала лесов, усиление положительной роли лесов в стабилизации климата на глобальном, региональном и локальном уровнях;

повышение устойчивости лесов, сохранение биоразнообразия и др. сущностных свойств лесов в связи с антропогенным давлением на природу (потепление климата, загрязнение атмосферы, почв, вод вредными промышленными выбросами).

*Предлагаемое решение задач на основе использования накопленных (знаний) материалов исследований и учета исторического опыта*

Для решения перечисленных и др. комплексных задач и достижения соответствующих целей используется и совершенствуется разработанная лесоводством нормативно-методическая база, необходимая для принятия и реализации управленческих решений, регламентирующих охрану, защиту, использование и воспроизводство лесов, в соответствии с требованиями, предусмотренными законодательством по их содержанию и использованию. В рамках сохранения исторической и научной преемственности на базе существующих разработок для обеспечения системного решения задач лесопользования и управления лесами сформирован комплекс лесоводственных разработок, среди которых можно выделить ряд основных, сохраняющих четкую методологическую преемственность:

территориальное деление лесов по природным и иным условиям с выделением закрепленного нормативно-правовым документом (Перечень лесорастительных зон и лесных районов [20]);

типологическая классификация лесов на зонально-ландшафтной основе; деление лесов и всех объектов лесоводства по целевому назначению;

формирование природно-целевой классификации лесов и др. объектов лесоводства на основе интеграции, трех базовых классификаций: лесоводственного районирования, деления (классификации) лесов по целевому назначению, типологической зонально-ландшафтной классификации лесов;

приведение в соответствие природно-целевым объектам лесоводства определенных систем лесоводственных мероприятий.

При этом для решения конкретных задач лесоводственного обеспечения лесопользования и лесовоспроизводства в период подготовки и реализации в нормативно-правовых актах положений Лесного кодекса (2006 г.) использовались в качестве научно-практической базы предшествующие разработки по многим направлениям лесоводства, не всегда получавшие необходимое и достаточно адекватное отражение в принятых документах.

В соответствии с изменившимися требованиями законодательства, эколого-экономическими условиями и с учетом результатов исследований последних лет каждая используемая разработка корректировалась, совершенствовалась или представлялась базой для подготовки новой (иной) разработки.

*Использование и адаптация к новым задачам и условиям методов и нормативов, разработанных для лесовосстановления при концентрированных рубках*

Несмотря на то, что эти рубки во многом оцениваются как отрицательные [7, 30 и др.] и исключены из нормативного применения еще в 80–90-е гг. XX в. [36], разработанные при их применении лесоводственные компенсационные меры в настоящее время представляют определенную ценность для решения задачи эффективного лесовосстановления и сохранения экологических условий при крупно(широко)лесосечных рубках.

В рамках решения этой исторической задачи лесоводством была изучена динамика лесовосстановления при проведении концентрированных рубок и разработаны меры, обеспечивающие во многих лесотипологических условиях естественное возобновление леса, а также методы и технологии лесовосстановления созданием лесных культур [4, 5, 12, 26 и др.].

Одно из принципиальных решений, не утрачивающих ценность, – обеспечение источниками возобновления всего участка с одновременным смягчением резко меняющихся на крупных концентрированных вырубках экологических условий, особенно оставлением устойчивых семенных полос, фактически разделяющих широкую лесосеку на узкие полосы шириной не более 100 м, удовлетворяющие условиям обсеменения (распространения семян) основных хвойных пород. Это методическое решение в новых условиях

усовершенствовано и адаптировано для использования при средне- и крупно-лесосечных сплошных рубках, допустимых действующим нормативно-правовым режимом «рубков спелых и перестойных лесных насаждений» для заготовки древесины (Лесной кодекс, 2006 г.), приведенных в определенное соответствие рубкам лесовозобновления с шириной лесосек более 100 м (200 м и более) и площадью более 10 га (20...50 га и более) для разделения их на более мелкие по ширине и длине.

При этом внутривидовая структура участка после такой сплошной рубки включает специфический, «эколого-лесоводственный каркас», состоящий из обсеменителей, объединенных в единую систему с другими сохраняемыми элементами фитоценоза в виде полос, площадок – биотопов, а также «соединительных коридоров».

*Разработки лесоводства по сохранению подроста и деревьев второго яруса при применении видов лесоводственных рубок различного целевого назначения*

К важнейшим достижениям лесоводственной науки, используемым для обеспечения органов управления лесным хозяйством инструментом регулирования лесопользования и ведения лесного хозяйства, относятся разработанные в результате изучения процессов лесовозобновления при рубках практически на протяжении всей предшествующей истории обоснованные требования и нормативы сохранения жизнеспособного подроста (а также устойчивых деревьев второго яруса) для возобновления леса на участках (лесосеках) с наличием его под пологом вырубаемых спелых и перестойных древостоев и появлением в результате мер содействия лесовозобновлению при рубках. Принятие органами управления лесным хозяйством подготовленной ВНИИЛМом (по результатам исследований института с участием практически всех отраслевых НИИ лесного хозяйства и лесной промышленности, а также вузов) Инструкции по сохранению подроста... [6] явилось значительным событием XX в. в лесном хозяйстве (и в целом в лесном комплексе), определившим во многом последующее развитие лесоводственной нормативной базы управления и регулирования лесопользования, а также в значительной мере повлиявшим на создание новых технологий разработки лесосек и машин.

В новых условиях, сложившихся в начале XXI в., с учетом результатов проведенных исследований на лесосеках, разрабатываемых с применением многооперационных машин, нормативные положения сохранения подроста уточняются в связи со спецификой технологических и технических воздействий на насаждение и биогеоценоз в целом при разработке лесосек на базе этой техники, а также конкретизируются в направлении расширения объектов применения требований, включая лесосеки с небольшим (любым) количеством жизнеспособного подроста, который при его сохранении не только может обеспечить создание основы формирования после рубки устойчивого насаждения (фитоценоза), но и имеет важное значение для сохранения участков с ненарушенной подстилкой и почвой, водоохранными и другими свой-

ствами и экологическими условиями на вырубке, своеобразных «микрорезерватов» сохранения биоразнообразия.

*Использование лесоводственных мер сохранения при сплошных рубках главного пользования участков древостоев, не достигших возраста спелости, а также других «неэксплуатационных участков»*

Методы решения задач сохранения при рубках главного пользования (рубка спелых и перестойных древостоев и лесовозобновление) участков молодняков и других насаждений, не достигших возраста спелости, а также иных так называемых неэксплуатационных участков, разработанные лесоводством в прошлом, являются основой для формирования системы мер (методов и нормативов) решения более сложной задачи, установления критериев выделения и мер сохранения при рубках в природоохранных и иных целях значительного разнообразия компонентов биогеоценозов и их комплексов (особо ценных биотопов, растений редких и исчезающих видов, их местообитаний, экосистем, участков концентрации биоразнообразия и др.). При этом учитывается, что многие выделяемые в прошлом виды неэксплуатационных участков соответствуют или сходны с подлежащими выделению с учетом новых природоохранных и иных требований (небольшие заболоченные участки, в границах лесосек с относительно однородными насаждениями на дренированных почвах, участки вдоль ручьев, вокруг родников и т.п.).

*Использование и совершенствование лесоводственных требований к технологическим процессам рубок лесоводства и лесопользования*

Огромное значение для подготовки лесоводственного обеспечения современного лесопользования и управления лесами имеет базовая лесоводственная разработка, важнейший инструмент управления лесопользованием – Лесоводственные требования к технологическим процессам рубок лесопользования и лесоводства (рубок главного пользования и рубок ухода). Они разрабатывались и совершенствовались по результатам многолетних исследований практически во всех регионах страны в связи с интенсивным развитием механизированных лесозаготовок, с учетом изменений экологических условий и процессов лесовозобновления на участках, в разной мере нарушенных при трелевке и выполнении других технологических операций разработки лесосек (уплотнением почвы и разрушением ее структуры, образованием колеи, сдиранием подстилки, минерализацией поверхности легких по механическому составу слабоустойчивых сухих почв, подверженных ветровой эрозии, а также и тяжелых глинистых и суглинистых, где при линейных повреждениях и уплотнении почвы существует опасность возникновения и развития водной эрозии).

На основе установленных в результате исследований предельных нормативов повреждений почвы, других компонентов биогеоценозов, превышение которых ведет к отрицательным последствиям, были сформированы нор-

мативные лесоводственные требования к технологиям рубок главного пользования, подготовленные лабораторией лесоводства ВНИИЛМ с участием других институтов. Утвержденные органами управления лесным хозяйством, они в 1983 г. в виде нормативного документа «Лесоводственные требования к технологическим процессам лесосечных работ» стали важным лесоводственным инструментом регулирования технологического воздействия на леса при рубках лесовозобновления или главного пользования [8]. В 1987 г., по завершению очередного этапа исследований, были подготовлены и утверждены лесоводственные требования к технологиям рубок ухода [9].

В последующем, с учетом результатов исследований, изменением технических средств и технологий разработки лесосек, лесоводственные требования постоянно уточняются и совершенствуются в новых условиях лесозаготовок, базирующихся преимущественно на многооперационных машинах (харвестеры, форфардеры и др.). Только на основе использования такой базы оказалось возможным в течение двух лет разработать комплекс научно-обоснованных требований к технологиям разработки лесосек при всех видах рубок лесоводства и лесопользования, в том числе заготовки древесины и ухода за лесами с учетом их целевого назначения и разнообразия природных условий, а также сохранения многих компонентов биогеоценозов в природоохранных целях, лишь частично реализованный в Правилах заготовки древесины [27] и Правилах ухода за лесами [28].

*Использование методов и видов лесоводственных рубок, в том числе переходных чересполосных*

Для решения проблемы выбора оптимальных вариантов выборочных рубок в защитных лесах, обострившейся в связи с установлением Лесным кодексом (2006 г.) требований применения в этих лесах почти исключительно форм «выборочных рубок лесных насаждений», использован наработанный опыт проведения несплошных рубок с выборкой деревьев не только на основе классических методов (относительно равномерно, группами, куртинами, котловинами), но и схематически (полосами, площадками), т.е. по существу переходных (промежуточных) между сплошными и выборочными видов лесоводственных рубок, выделяемых по методам назначения деревьев в рубку. Применение этих методов рубок в широком диапазоне типологических условий, изучение влияния их на возобновление, устойчивость насаждений, в зависимости от параметров и характеристик чересполосных рубок, в течение продолжительного времени (70–80-е [3] и последующие годы XX в.), позволило получать данные для объективной оценки различных вариантов этих рубок и рекомендовать наиболее приемлемые и эффективные (по параметрам и характеристикам) к применению, преимущественно, в производных лиственных насаждениях с подростом хвойных пород [1 – 3, 25, 28 и др.].

С учетом дополнительной оценки (спустя десятилетия) результатов применения чересполосных постепенных рубок и рубок ухода, в рамках тре-

бований нового Лесного кодекса, эти рубки, как и все другие несплошные рубки, отнесены к объединяющей форме «выборочные». Это вполне обоснованно и практически неизбежно в рамках жестко установленной законодательством бинарной системы форм рубок (сплошные – выборочные) при таких фактически переходных (между выборочными и сплошными) вариантах рамочных параметров – ширине полос, не превышающей величину средней или верхней высоты древостоя (до 30...35 м, но не более 40 м), длине до величины трех-четырех высот (до 100...125 м) и площади менее 0,5 га. В зависимости от конкретных условий и целевого назначения лесов, приведенные размеры полос уменьшаются, а рубка осуществляется в 2–3 приема с интервалами между ними от 0,2 до 1,0 среднего класса возраста древостоя и подроста.

Благодаря установленному широкому рамочному диапазону нормативов чересполосных рубок, их соответствующие варианты могут использоваться в определенных природных условиях в различных лесоводственных функциональных видах рубок (по целевому назначению) – рубок лесовозобновления лесопользования, рубок ухода, рубок реконструкции и др.

При этом необходимо учитывать установленное в предшествующий период соответствие применяемых видов (методов, способов) рубок главного пользования определенной возрастной структуре древостоев. В частности, разновозрастным, особенно абсолютно разновозрастным, древостоем соответствуют исключительно классические выборочные рубки – добровольно- и группово-выборочные рубки, в то время как практически все другие их виды неприемлемы.

Допущение применения иногда в разновозрастных лесах третьей группы длительно-постепенных рубок являлось, по существу, вынужденным компромиссом в учете двух противоположно действующих факторов при выборе вида рубок – соответствие природе леса и сильно ограничивающие экономические условия (в которых невозможно было вести добровольно- и группово-выборочные рубки).

Однако «...длительно-постепенные рубки существенно отличаются от добровольно-выборочных, ... добровольно-выборочные рубки обеспечивают непрерывную сохранность разновозрастной структуры древостоев, тогда как длительно-постепенные превращают абсолютно-разновозрастный древостой в условно-одновозрастный» [24, с. 40 и 41]. Сохранение разновозрастной структуры насаждений особенно важно для защитных лесов, где применение длительно-постепенных рубок вообще неприемлемо.

*Целостные основы систем лесоводственного обеспечения устойчивого лесопользования и управления лесами по интегрированным природно-целевым объектам лесоводства*

Разработанные в последние десятилетия XX в. ВНИИЛМом и др. институтами региональные системы ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе [14, 15, 22, 24], а также системы лесохозяйственных

мероприятий для отдельных регионов и экологически ценных лесов Северного Кавказа, притундровых лесов [29, 34, 35] являются нормативно-методической базой создания и развития лесоводственных систем обеспечения устойчивого лесопользования и лесопользования.

Разработка приоритетно-целевых систем лесоводственных мероприятий в начале XXI в. основана на формировании единого комплексного разделения объектов лесоводства по трем классификациям: лесоводственному районированию территории страны; делению лесов и др. объектов лесоводства по целевому назначению; делению лесов и др. объектов лесоводства по формационно-лесорастительным признакам (типологическая классификация лесов). При этом лесоводственное районирование лесов «выросшее» из лесохозяйственного [13, 19], с учетом других видов районирования территории использовано также при подготовке в развитии Лесного кодекса (2006 г.) [20], а приоритетно-целевое деление объектов лесоводства сформировано на разделении лесов на группы, категории защитности и особо защитные участки [13, 19] и приведено в определенное непротиворечивое соотношение с делением лесов по целевому назначению, представленному в новом Лесном кодексе.

#### *Заключение*

Проведенный анализ использования результатов предшествующих исследований и разработок при решении задач, появившихся или обострившихся вследствие изменений экологических и экономических условий, а также законодательного регулирования охраны, защиты, воспроизводства и использования лесов в начале XXI в., подтверждает, что наиболее эффективно они решаются на основе использования и совершенствования нормативно-методической базы результатов исследований и разработок предшествующего исторического периода и их дополнения в новых условиях. Попытка отказаться от научно-исторического опыта и разработок, создавая новые нормативно-правовые правила под новые задачи, без учета использования накопленного научного материала любого предшествующего периода развития лесоводства, даже при учете исходных принципов, заложенных в начале XX в. основоположниками отечественного лесоводства, лесопользования и лесопользования, ведет, по существу, к необратимому возврату назад и необходимости решать заново давно решенные задачи.

При решении любых задач, устанавливаемых системой управления лесами, целесообразно следовать принципу – результаты исследований и обоснованные ими научные лесоводственные разработки не утрачивают своего значения, а подлежат использованию с учетом результатов продолжающихся исследований в качестве прямой или альтернативной основы (базы) для подготовки новых разработок, отражаемых в более совершенных прежних или измененных формах, соответствующих социально-экономическим требованиям, сложившимся в данный исторический период времени.

Происходящие в конце XX – начале XXI в. международные процессы, направленные на переход к устойчивому управлению лесами, смена парадигмы лесоводства во многих развитых странах с возвращением идеи восстановления естественных лесов, их биоразнообразия лишь подтверждают правильность парадигмы отечественного лесоводства, лесопользования и управления лесами, сформированной еще в начале XX в. Г.Ф. Морозовым и М.М. Орловым и ориентированной на сохранение и восстановление коренных лесов при непрерывном неистощительном лесопользовании.

Несмотря на осуществление на практике в известный исторический период нередко противоречащих принципам этой парадигмы мероприятий лесопользования и лесовоспроизводства, связанных с перерубом расчетной лесосеки за счет ценных продуктивных хвойных лесов (нарушение по существу принципа постоянства, неистощительности и непрерывности лесопользования), проведением рубок концентрированными лесосеками без необходимых сроков примыкания и мер лесовозобновления, допущением при рубках смены пород (коренных на производные и нарушение фактически принципа «рубки и возобновление леса синонимы»), применением в разновозрастных лесах сплошных рубок вместо выборочных и др., не соответствующих природным процессам мероприятий, лесоводство на основе многолетних исследований разрабатывало мероприятия, направленные на снижение отрицательных последствий от указанных и др. хозяйственных воздействий на леса, которые вполне могут и должны использоваться для решения новых задач лесоводства с необходимой корректировкой, приведением в соответствие новым условиям и требованиям.

К таким разработкам относятся, в частности, меры лесовозобновления на концентрированных вырубках, лесоводственные требования к технологиям и техническим средствам рубок главного пользования или рубок лесовозобновления лесопользования и рубок ухода, а также применение вместо сплошных рубок в разновозрастных лесах, разработанных А.В. Побединским, длительно-постепенных рубок, снижающих в определенной мере отрицательные последствия освоения этих лесов, но исключительно в условиях, рекомендованных автором этих рубок, не допуская применения их в защитных лесах, а также и в эксплуатационных разновозрастных лесах, где в современных условиях доступно проведение соответствующих им добровольно-выборочных рубок.

Используя эти и др. разработки предшествующих периодов развития лесоводства, а также следуя принципам преемственности в лесоводстве в начале XXI в. лесоводственной наукой решается комплекс задач обеспечения устойчивого управления лесами, эффективного непрерывного неистощительного лесопользования. При восприятии и применении управляющей системой лесоводственных разработок в системе законодательного, нормативно-правового и практического регулирования использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов может быть достигнуто улучшение и поддержание целевого состояния лесов, сохранение и восстановление их экологического и ресурсного потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев П.В.* Чересполосно- и коридорно-пасечные рубки в елово-лиственных древостоях. Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1967. 118 с.
2. Временное наставление по проведению рубок ухода в мягколиственных насаждениях со вторым ярусом и подростом ели (для равнинных лесов Европейской части РСФСР). Госкомлес СССР, 1989. 52 с.
3. Временные указания по проведению полосно-постепенных рубок в лесах I группы: приказ Госкомлеса СССР от 12.05.1986 г. М., 1986.
4. *Декатов Н.Е.* Мероприятия по возобновлению леса при механизированных лесозаготовках. М.; Л., 1961. 278 с.
5. *Декатов Н.Е.* Простейшие мероприятия по возобновлению леса при концентрированных рубках. М., 1936. 112 с.
6. Инструкция по сохранению подроста и молодняка хозяйственно ценных пород при разработке лесосек и приемке от лесозаготовителей вырубок с проведенными мероприятиями по восстановлению леса. М., 1984. 12 с.
7. *Колбовский Е.Ю.* Ландшафтоведение. М., 2006. 480 с.
8. Лесоводственные требования к технологическим процессам лесосечных работ. М., 1984; 1993. С. 16.
9. Лесоводственные требования к технологическим процессам рубок ухода за лесом. М., 1993. С. 26.
10. *Мелехов И.С., Корконосова Л.И., Чертовской В.Г.* Руководство по изучению типов концентрированных вырубок. М., 1962. 113 с.
11. *Мелехов И.С.* Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
12. *Мелехов И.С.* Рубки главного пользования. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 374 с.
13. Методические рекомендации по организации лесного хозяйства и устойчивого управления лесами / Моисеев Н.А. [и др.] МПР России, 2001. 39 с.
14. *Моисеев Н.А., Побединский А.В.* Зональные системы воспроизводства лесных ресурсов // Лесн. хоз-во. 1986. № 10. С.15–19.
15. *Моисеев Н.А., Чуенков В.С.* Классификация лесов по целевому назначению и режиму использования. М., 2004. 57 с.
16. *Морозов Г.Ф.* Избранные труды. Т. 1. М., 1970. 460 с.
17. *Орлов М.М.* Леса водоохранные, защитные и лесопарки // Устройство и ведение хозяйства. М., 1983. 88 с.
18. *Орлов М.М.* Лесоуправление как исполнение лесоустроительного планирования. Л.: Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть, 1930. 491 с.
19. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе. М., 1991. 12 с.
20. Перечень лесорастительных зон и лесных районов РФ: приказ Рослесхоза № 61 от 09.03.2011 г. М., 2011.
21. *Побединский А.В.* Возобновление леса на концентрированных вырубках. М., 1955. 92 с.
22. *Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов: метод. рекомендации. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Наука, 1966. 64 с.
23. *Побединский А.В.* Влияние лесохозяйственных мероприятий на водоохранно-защитную роль леса. М.: ЦБНТИ, 1975. 48 с.
24. *Побединский А.В.* Рубки главного пользования. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 187 с.

25. *Побединский А.В.* Системы ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе. М., 1983. 35 с.
26. *Побединский А.В., Желдак В.И.* Особенности рубок ухода в лесах с ограниченным режимом лесопользования // Лесн. хоз-во. 1989. № 9. С. 24–27.
27. Правила заготовки древесины: приказ Рослесхоза № 337 от 01.08.2011 г. М., 2011.
28. Правила ухода за лесами: приказ МПР России № 185 от 16.07.2007 г. М., 2007.
29. Притундровые леса Европейской части России (природа и ведение хозяйства) / Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков, Г.А. Чибисов, Ф.П. Елизаров. Архангельск, 1998. 332 с.
30. *Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П.* Методические указания к изучению типов леса. М., 1957. 113 с.
31. *Сукачев В.Н.* Типы леса Бузулукского бора // Труды и исследования по лесному хозяйству и лесной промышленности. Вып. 13. Ленинград, 1931. С. 109–243.
32. *Тихонов А.С.* Разработка рубок 40–50-летней давности в двухярусных лиственно-еловых древостоях с сохранением елового яруса: сб. науч.-исслед. работ по лесн. хоз-ву. Вып. VIII. ЛенНИИЛХ. 1964. С. 65–86.
33. *Ткаченко М. Е.* Общее лесоводство. М.; Л., 1955. 596 с.
34. *Цветков В.Ф.* Лесовозобновление: природа, закономерности, оценка, прогноз. Архангельск : Изд-во АГТУ, 2008. 212 с.
35. *Цветков В.Ф., Семенов Б.А.* Сосняки Крайнего Севера. М.: Агропромиздат, 1985. 116 с.

**В.И. Желдак**  
Всероссийский НИИ лесоводства  
и механизации лесного хозяйства

**V.I. Zheldak**

Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry

**Russian Silviculture from the 20th to the 21st Century: a Historical Legacy Evolution or a Paradigm Shift?**

---



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

*А.С. Новоселов<sup>1</sup>, В.С. Вернодубенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Вологодский государственный технический университет

<sup>2</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина

#### **40 ЛЕТ ВОЛОГОДСКОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ СЕВЕРНОГО НИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА**

В 2013 г. Вологодской региональной лаборатории Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (СевНИИЛХ) исполняется 40 лет.

Первоначально это было научное подразделение – стационар, образованный в сентябре 1973 г., затем – научно-исследовательская группа, с апреля 1983 г. – Вологодская региональная лаборатория Архангельского института леса и лесохимии (в настоящее время СевНИИЛХ лесного хозяйства).

С момента образования и до 1989 г. стационаром заведовал П.А. Анишин. Кроме него, в этот период работали В.Ф. Крот, Н.А. Чечулин, А.А. Бокач и др. В 1981 г. в постоянный штат вошел канд. с.-х. наук Н.А. Дружинин (диссертация «Влияние режима почвенно-грунтовых вод на производительность сосновых насаждений на торфяных почвах в условиях Среднего Урала»). В лаборатории над отграничением новых стационарных объектов наблюдения трудились В.А. Щурок, И.В. Левашов, Н.В. Беляев, С.И. Салтанов, М. Даниловская, Н.В. Шапаренко, Н. Осипов, П.Д. Угарин, И.Д. Черемисин, А.Г. Вересов и др.

В 1989 г. лабораторию возглавил Н.А. Дружинин, постепенно в ее штат вошли Павел Николаевич (1989 г.) и Федор Николаевич (2000 г.) Дружинины, которые работают и в настоящий момент.

В 1985, 1997 и 2007 гг. лабораторией были проведены российские и международные совещания по гидролесомелиоративной тематике, лесопользованию в осушаемых лесах и во вторичных лиственных насаждениях на минеральных почвах, по восстановлению коренных ельников. К совещаниям подготовлены и изданы три сборника статей. Опубликовано две монографии: «Осушение лесов Вологодской области» (Н.А. Дружинин, Н.Н. Неволин (2001 г.)) и «Прижизненное и побочное пользования осушаемых лесов Вологодской области» (Н.А. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, А.С. Пестовский, А.С. Новоселов (2011 г.)).

Кроме этого сотрудниками разработаны практические рекомендации «Оставление фаутовой осины на корню» (Н.А. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, Н.П. Шленкин, Е.Н. Юричев), «Руководство по организации, технологии рубок обновления» (Н.А. Дружинин, П.Н. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, В.С. Дубовский, Н.В. Шапаренко (2004 г.)) и «Руководство по сортиментной заготовке древесины» (Н.А. Дружинин, П.Н. Дружинин и др. (2005 г.)).

---

© Новоселов А.С., Вернодубенко В.С., 2013

На основании многолетних исследований сотрудниками лаборатории подготовлены и успешно защищены одна докторская и пять кандидатских диссертаций. В 2005 г. кандидатские диссертации защитили: Е.А. Мариничев («Лесоводственная эффективность прореживаний в сосновых древостоях на осушаемых землях в условиях южной и средней подзон тайги (на примере Вологодской области)» в СпбНИИЛХ; Ф.Н. Дружинин («Восстановление ельников в лиственных лесах средней и южной тайги Европейского Севера (на примере Вологодской области)» в АГТУ. В 2006 г. успешно прошла защита докторской диссертации Н.А. Дружинина («Лесоводственно-экологическое обоснование ведения лесного хозяйства в осушаемых лесах») в СпбНИИЛХ. В 2009 г. кандидатские диссертации в АГТУ–САФУ защитили А.С. Пестовский («Влияние лесосошения и рубок на плодоношение съедобных грибов в таежной зоне Европейского Севера») и А.С. Новоселов («Смолопродуктивность сосны после осушения и несплошных видов рубок (на примере Вологодской области)»); в 2011 г. – В.С. Вернодубенко («Динамика хвойных древостоев на торфяных почвах Европейского Севера»).

Ежегодно сотрудники лаборатории проводят научные исследования, по итогам которых публикуют статьи в сборниках, издаваемых как на региональном, так и на всероссийском уровнях. В настоящее время коллектив трудится над разработкой рекомендаций по созданию технических, экономических и организационных условий для увеличения доли выборочных рубок при заготовке древесины; выявлением влияния антропогенных факторов на ресурсы недревесной продукции леса в средне- и южно-таежной зоне Европейского Севера; совершенствованием технологии подсоски сосны обыкновенной за счет применения высокоэффективных стимуляторов смолообразования и расширения лесосырьевой базы и др.

С 2010 г. в интернет-среде функционирует ресурс Вологодской региональной лаборатории СевНИИЛХ (<http://www.Laboratoriya-35.narod.ru/>), на котором размещены основные публикации сотрудников, региональные руководства, пособия, фотоотчеты и др. материалы.

Желаем целеустремленному коллективу дальнейшего развития и больших научных свершений.

*A.S. Novoselov*

Vologda State Technical University

*V.S. Vernodubenko*

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

**40th Anniversary of the Regional Vologda Laboratory of the Northern Research Institute of Forestry**

---