

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

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

4

2004

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – проф. **О.М. Соколов**  
Заместители главного редактора:  
проф. **Е.С. Романов**, проф. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **И.И. Гусев**, проф. **Р.Е. Калитеевский**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **А.А. Камусин**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолева**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**, проф. **Г.С. Ощепков**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.К. Попов**, проф. **С.М. Репях**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **В.И. Санев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

«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, информации 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

Редакторы **Н.П. Бойкова**, **Л.С. Окулова**  
Перевод **Н.Т. Подражанской**  
Компьютерный набор **О.В. Деревцовой**, верстка **Е.Б. Красновой**

---

Сдан в набор 02.08.2004. Подписан в печать 06.09.2004.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.  
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 27 37 18,  
факс: (818-2) 27 37 14, e-mail: forest@agtu.ru http://lesnoizhurnal.agtu.ru

---

Типография Архангельского государственного технического университета  
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- И.Н. Жежкун, А.Н. Жежкун.* Сравнительная эффективность формирования целевых насаждений ..... 7
- Л.И. Котова.* Ботанический сад МарГТУ – учебная, научная и производственная база ..... 14
- Л.В. Суханова.* Размножение нектаропродуктивной ивы трехтычинковой черенками ..... 16
- Н.А. Разумников.* Элеутерококк колючий в Республике Марий Эл ..... 22
- В.Н. Карасев, М.А. Карасева.* Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности деревьев хвойных пород ..... 27

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, П.А. Протас.* Деформация грунтов на технологических элементах лесосеки, укрепленных отходами лесозаготовок ..... 33
- И.В. Григорьев, А.И. Жукова.* Координатно-объемная методика трассирования при освоении лесосек трелевкой ..... 39
- П.Ф. Войтко.* Математическая модель процесса формирования пачки лесных грузов ..... 44

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- А.Р. Бирман.* Штучный паркет пониженной древесинемкости ..... 53
- Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов, В.С. Петровский.* Сушка твердых лиственных пород с предварительной химической обработкой ..... 58
- А.Е. Алексеев, М.В. Захаров.* Обоснование технологических параметров измерителя кольцевой формы и процесса измерения размеров сортиментов ..... 64
- Ю.Ф. Воронцов, А.Д. Голяков.* Ресурсосберегающая технология лесопиления ..... 74
- Л.В. Алексеева.* Проектирование малых лесопильных предприятий на базе ленточнопильных станков ..... 81

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- А.Я. Киповский, В.Н. Пиялкин, И.И. Белоусов, С.А. Прокопьев.* Роль температурно-временных факторов при ультрапиролизе древесного сырья ..... 85
- Л.И. Селянина.* Выделение бетулина из отходов переработки березы экстракцией спиртом ..... 92
- И.П. Дейнеко.* Химические превращения целлюлозы при пиролизе ..... 96
- О.В. Броварова, Л.С. Кочева, А.П. Карманов, И.И. Шуктомова, Н.Г. Рачкова.* Исследование физико-химических свойств сорбентов на основе растительного сырья ..... 112
- О.Г. Авакова, К.Г. Боголицын.* Растительная клетчатка: структура, свойства, применение ..... 121

*ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА*

- В.А. Чебарев.* Инвестиционные стратегии предприятий лесопромышленного комплекса России..... 131

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- С.Г. Горохов, Э.Н. Сабуров, В.К. Любов.* Циклонный предтопок для сжигания древесных отходов..... 136
- М.В. Ефанов.* Функциональный состав продуктов оксиаммонолиза целлюлозы и лигнина ..... 142

*НЕКРОЛОГИ*

- Коллеги, друзья.* Памяти Георгия Ивановича Чижова..... 144
- 
-





## CONTENTS

## FORESTRY

<i>I.N. Zhezhkun, A. N. Zhezhkun.</i> Comparative Efficiency of Target Stands Formation.....	7
<i>L.I. Kotova.</i> Botanic Garden of MarSTU – Educational, Scientific and Industrial Base.....	14
<i>L.V. Sukhanova.</i> Reproduction of Nectariferous <i>Salix Triandra</i> L. by Branch Cutting.....	16
<i>N.A. Razumnikov.</i> <i>Eleutherococcus Senticosus</i> in the Mari El Republic.....	22
<i>V.N. Karasev, M. A. Karaseva.</i> Ecological-and-physiological Diagnostics of Coniferous Trees Viability.....	27

## WOODEXPLOITATION

<i>A.S. Fedorenchik, S. S. Makarevich, P. A. Protas.</i> Soil Deformation on Technological Elements of Logging Sites Consolidated by Logging Wastes.....	33
<i>I.V. Grigorjev, A.I. Zhukova.</i> Coordinate-volumetric Technique of Routing when Developing Cutting Areas by Skidding.....	39
<i>P.F. Voitko.</i> Mathematical Model of Formation Process of Timber Cargo Bundle....	44

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>A.R. Birman.</i> Block Parquet of Reduced Wood Capacity. ....	53
<i>T.K. Kurjanova, A. D. Platonov, V. S. Petrovsky.</i> Hardwood Drying with Preliminary Chemical Treatment.....	58
<i>A.E. Alekseev, M.V. Zakharov.</i> Substantiation of Technological Parameters for Circular Form Meter and Assortment Measuring Process.....	64
<i>Yu.F. Vorontsov, A. D. Golyakov.</i> Resource-saving Technology of Wood Sawing...	74
<i>L.V. Alexeeva.</i> Designing Small Sawmills Based on Band Saw Machines.....	81

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>A.J. Kipovsky, V.N. Pialkin, I.I. Belousov, S.A. Prokopjev.</i> Role of Temperature and Time Factors at Ultrapyrolysis of Wood-raw Material.....	85
<i>L.I. Selyanina.</i> Betulin Extraction out of Birch Processing Wastes by Alcohol.....	92
<i>I.P. Dejneko.</i> Chemical Transformations of Cellulose under Pyrolysis.....	96
<i>O.V. Brovarova, L.S. Kocheva, A.P. Karmanov, I.I. Shuktomova, N.G. Rachkova.</i> Investigation of Physicochemical Properties of Sorbents Based on Vegetable Raw Material.....	112
<i>O.G. Avakova, K.G. Bogolitsyn.</i> Vegetal Cellulose: Structure, Characteristics, Application.....	121

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>V.A. Chebarev.</i> Investment Strategies of Forest-industrial Companies in Russia.....	131
---	-----

---

---

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE*

*S.G. Gorokhov, E.N. Saburov, V.K. Lyubov.* Cyclone Furnace Extension for Wood  
Wastes Burning..... 136

*M.V. Efanov.* Functional Composition of Oxiammonolysis of Pulp and Lignin..... 142

*OBITUARY*

*Colleagues, friends.* In Memory of Georgy I. Chizhov..... 144





УДК 630\*6.003.13

*И.Н. Жежкун, А.Н. Жежкун*

Жежкун Ирина Николаевна родилась в 1971 г., окончила в 1994 г. Брянский технологический институт, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 14 научных работ по вопросам эффективности деятельности предприятий лесного комплекса и их объединений.



Жежкун Анатолий Николаевич родился в 1964 г., окончил в 1990 г. Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и защиты леса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 30 научных работ по вопросам лесовосстановления, динамики и формирования хвойно-широколиственных насаждений.



### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Рассчитана экономическая эффективность трех вариантов целевого формирования насаждений. Сделаны выводы об экономической целесообразности выращивания древостоев различного хозяйственного назначения с учетом фактора времени.

*Ключевые слова:* формирование насаждений, рубки ухода, экономическая эффективность, чистый дисконтированный доход.

Устойчивое управление в лесном хозяйстве Российской Федерации должно обеспечивать сбалансированное сочетание экологических, экономических и социальных функций лесов [2, 3]. В рамках многоцелевого лесопользования экономические функции определяют прежде всего эффективное использование всех ресурсов леса при минимальных затратах на их воспроизводство.

Управление хозяйственным объектом включает: анализ, планирование, организацию, учет результатов и контроль. Их эффективность определяется состоянием объекта управления (в данном случае лесного фонда и лесхозов как низовых структур управления).

Анализ текущего финансового состояния лесхозов и динамики лесного фонда юго-запада Нечерноземья указывает на проблемы, возникающие при реализации концепции устойчивого лесопользования [1]. Поиск лесхозами резервов собственных средств при ухудшении породного состава, структуры и производительности насаждений свидетельствует о низкой эффективности лесопользования на местах.

Наиболее проблемными функциями лесоправления, по нашему мнению, являются ныне планирование и контроль. Недостаточно действенный контроль за лесопользованием на местах определяется, главным образом, субъективными причинами: коммерциализацией деятельности лесхозов в ущерб их основным функциям и неэффективным руководством лесхозами и лесничествами.

Обеспечение эффективности хозяйствования в рыночных условиях связано с корректировкой теоретических подходов к планированию и лесопользованию. Планирование на уровне лесхозов должно осуществляться не на один год или даже 10 лет (как при лесоустройстве), а на период оборота ресурсов леса, т. е. на срок их воспроизводства и потребления. Только такой подход позволяет в полном объеме оценить эффективность лесохозяйственных мероприятий, экологические и социальные функции лесов.

Расширяя горизонт планирования, необходимо переходить также к практике вариантного планирования целевого назначения конкретных участков лесного фонда. С учетом полученных экономических результатов, экологической экспертизы и социального прогноза по вариантам использования участков лесного фонда и нужно выбирать тот или иной проект.

Целевое назначение участка лесного фонда определяет технологию воспроизводства, организационно-технические элементы и, соответственно, затраты и доходы, возникающие в ходе реализации мероприятий. И здесь необходимы многовариантные экономические расчеты.

В качестве примера определим экономическую эффективность трех вариантов различного целевого формирования насаждения на одном участке лесного фонда. Участок находится в Опытном лесничестве Учебно-опытного лесхоза БГИТА (кв. 34, выд. 4, площадь 1,2 га). Таксационные показатели насаждения: I ярус – 7Б2Ос1Ив, возраст 28 лет, средняя высота 21 м, полнота 0,5, запас 120 м<sup>3</sup>/га; II ярус – 5Лп4Кл1Вз+Д, возраст 26 лет, средняя высота 12 м, полнота 0,5, запас 80 м<sup>3</sup>/га. Подрост – 10Е, возраст 20 лет, средняя высота 1 м, густота 2000 шт./га. Подлесок густой из лещины, липы, рябины. Тип леса – березняк лещиновый, ТЛУ – D<sub>2</sub>. На участке заложена пробная площадь (0,9 га), включающая три рабочие секции и контроль.

Выбраны следующие варианты целевого назначения участка:

а) секция 2 – формирование березового насаждения в целях получения лесоматериалов для лущения (фанерный кряж);

б) секция 3 – формирование елового насаждения с примесью широколиственных пород;

в) секция 4 – формирование березово-елового насаждения с поэтапным получением древесины березы и ели.

Секция 1 оставлена в качестве контроля.

На секции 2 в 1990 г. проведено прореживание интенсивностью 25 % запаса, удалены сухостойные деревья всех пород и деревья, затеняющие верхнюю часть березы.

Для формирования ельника на секции 3 проведена двухприемная (в 1990 и 1992 гг.) рубка переформирования. Интенсивность первого приема

рубки составила 88, второго – 92 м<sup>3</sup>/га (табл. 1). В первый прием удаляли все сухостойные, суховершинные, фаутные, а также деревья мягколиственных пород и подлеска, которые угнетают ель и дуб. Во второй прием удаляли все деревья, оставляя на выращивание ель и дуб.

Таблица 1

## Характеристика вариантов рубок насаждений

Показатели	Порода	№ секции			
		1	2	3	4
Запас до рубки, м <sup>3</sup> /га, в 1990 г. (числитель) и в 2000 г. (знаменатель)	Б	79/127	102/145	114/0	108/143
	Кл	19/24	45/40	8/0	14/22
	Лп	58/73	44/28	8/2	35/50
	Ос	28/40	7/12	13/0	2/0
	Ив	10/8	13/4	33/2	15/6
	Вз	5/4	6/7	4/1	7/10
	Д+Яс	7/10	3/4	4/7	2/2
	Е	3/6	2/7	1/12	4/8
	Лщ	0/0	0/0	0/6	0/0
Всего	–	209/293	222/247	185/30	187/241
Запас вырубленной древесины, м <sup>3</sup> /га (числитель) и запас после рубки (знаменатель)*	Б	0/79	5/97	<u>31/83</u> 83/0	<u>26/82</u> 7/143
	Кл	0/19	21/24	<u>3/5</u> 5/0	<u>4/11</u> 7/14
	Лп	0/58	23/22	<u>4/4</u> 4/0	<u>13/22</u> 18/32
	Ос	0/28	1/6	<u>13/0</u> 0/0	<u>2/0</u> 0/0
	Ив	0/10	4/8	<u>33/0</u> 0/0	<u>13/2</u> 6/0
	Вз	0/5	1/6	<u>4/0</u> 0/0	<u>5/2</u> 5/5
	Д+Яс	0/7	1/2	<u>0/4</u> 0/4	<u>0/3</u> 0/4
	Е	0/3	0/2	<u>0/1</u> 0/1	<u>0/2</u> 0/8
	Всего	–	0/209	56/167	<u>88/97</u> 92/5
Прирост, м <sup>3</sup> /га (числитель), в т. ч. отпад (знаменатель) по запасу насаждения за 1990–2000 гг.	Б	54/6	60/12	0/0	70/8
	Кл	8/3	18/2	0/0	6/0
	Лп	21/6	9/2	2/0	28/0
	Ос	13/2	7/0	0/0	0/0
	Ив	12/13	2/6	2/0	4/0
	Вз	1/2	3/2	1/0	7/0
	Д+Яс	5/2	2/0	3/0	1/0
	Лщ	0/0	0/0	6/0	0/0
Е	4/0	4/0	11/0	5/0	
Всего	–	118/34	105/24	25/0	121/8

\* На секциях 3 и 4 над чертой запас древесины, вырубленный в 1-й прием; под чертой – во 2-й прием.

При поэтапном выращивании ели и березы (секция 4) проведено два прореживания (1990 и 2000 гг.). Интенсивность первого прореживания – 63, второго – 44 м<sup>3</sup>/га. На корню оставляли все деловые деревья березы, подгон из широколиственных пород (клен, вяз, липа), жизнеспособные деревья ели и дуба.

В результате рубок в насаждениях секций 2 и 4 заготовлена дровяная древесина. На секции 3 выход деловой древесины составил 56 % (101 м<sup>3</sup>/га), дров – 37 % (67 м<sup>3</sup>/га). Рыночная стоимость 1 м<sup>3</sup> деловой древесины березы: крупной – 104, средней – 74,2, мелкой – 37,6; дров твердолиственных пород и березы – 45, осины, липы, ивы – 40 р.

Наибольший доход от реализации древесины получен после рубок на секции 3 (6530,4 р./га), что определяется высокой интенсивностью рубок, и наличием деловой древесины, стоимость которой превышает рыночную стоимость дров. При поэтапном формировании ели и березы (секция 4) доход от реализации древесины (дров) за два приема составил 3795,55, при выращивании березы на фанерный кряж (секция 2) – 2199,4 р./га.

При поэтапном выращивании ели и березы прореживания повторяют через 10 лет, поэтому необходимо учесть фактор времени способом дисконтирования [4]. Дисконтированный доход  $D_d$  (р./га) от второго прореживания рассчитывали по формуле

$$D_d = D(1/(1 + E)^t), \quad (1)$$

где  $D$  – доход от реализации древесины, заготовленной при втором прореживании, р./га;

$E$  – норма дисконтирования (0,03);

$t$  – период дисконтирования, лет.

Доход от второго приема рубки (1434 р./га) с учетом фактора времени составит:  $1434 \cdot (1/(1 + 0,03)^9) = 1099$  р./га. Доходы от двух приемов рубки, приведенные на момент первого приема, будут равны  $2361,55 + 1099 = 3460,55$  р./га.

Прямые затраты на проведение рубок ухода рассчитывали на основе нормативно-технологических карт, составленных по каждому варианту с использованием нормативов [6] и ЕТС для бюджетных отраслей. Заключительный этап расчета представлен в табл. 2.

Аналогично расчету доходов, по формуле (1) определяли затраты на второе прореживание на секции 4 с учетом фактора времени:  $993,29 \cdot ((1/(1 + 0,03)^9) = 761,26$  р./га. Суммарные издержки за два приема рубки на момент проведения первого приема уменьшатся до  $2670,48 + 761,26 = 3431,74$  р./га.

За показатель эффективности рубок формирования целевых насаждений принят чистый дисконтированный доход (ЧДД), который в случае эффективности мероприятия должен быть положительным.

На секции 2

$$\text{ЧДД} = 2199,4 - 2434,01 = -234,61 \text{ р./га.}$$

На секции 3

$$\text{ЧДД} = 6530,4 - 6614,93 = -84,53 \text{ р./га.}$$

Таблица 2

## Расчет прямых затрат на проведение рубок ухода

Статья затрат	№ секции				
	2	3	4		
			1-й прием	2-й прием	Итого
1. Расходы на эксплуатацию машин и механизмов	1385,0	3712,5	1470,00	530,00	2000,0
2. Тарифная з/п	487,45	1348,17	557,62	215,20	772,82
3. Премии (40...50 % от п. 2)	194,98	539,27	223,05	86,08	309,13
4. Основная з/п (п. 2 + п. 3)	682,43	1887,44	780,67	301,28	1081,95
5. Дополнительная з/п (12 % от п.4)	81,89	226,49	93,68	36,15	129,83
6. Итого з/п (п. 4 + п. 5)	764,32	2113,93	874,35	337,43	1211,78
7. Единый социальный налог (37,3 % от п. 6)	285,09	788,50	326,13	125,86	451,99
8. Технологические издержки производства (п. 1 + п. 6 + п. 7)	2434,41	6614,93	2670,48	993,29	3663,77

На секции 4

$$\text{ЧДД} = 3460,55 - 3431,74 = 28,81 \text{ р./га.}$$

Таким образом, два первых варианта целевого формирования насаждений на период проведения промежуточных рубок по экономическим параметрам неэффективны. Минимально эффективным является вариант рубок ухода за березой и елью (доходы выше расходов на 28,8 р./га).

Для расчета потенциальной эффективности формирования целевого насаждения необходимо оценить не только объем вырубленной древесины при рубках ухода, но и приросты по запасу, а также запас древесины к возрасту главной рубки. Из данных табл. 1 следует, что наибольший текущий периодический прирост по запасу за последние 10 лет наблюдается на секции 4 (121 м<sup>3</sup>/га) и на контроле (118 м<sup>3</sup>/га), минимальный на секции 3 – 25 м<sup>3</sup>/га. На секции 4 с поэтапным выращиванием древесины березы и ели наблюдается максимальный прирост по запасу древесины березы. Устойчивость и природоохранные функции двухъярусных березово-еловых насаждений выше этих показателей в чистых березняках и ельниках.

Окончательную сравнительную оценку эффективности выращивания целевых насаждений, которые сформируются к возрасту спелости, производили с учетом материально-денежной оценки древесины (табл. 3). Прогнозирование потенциального запаса смешанных и сложных насаждений является трудной задачей. Таблицы хода роста древостоев Брянской и смежных областей [5], на основе которых даются такие прогнозы, составлены для чистых насаждений. Поэтому прогнозы для смешанных и сложных насаждений носят приближенный характер.

На секции 2 прогнозируется сформировать березовое насаждение к возрасту 61 год с запасом березы 250 м<sup>3</sup>/га. На секции 3 (возраст рубки ельника 81 год) запас древесины ели 350 м<sup>3</sup>/га. На секции 4 возраст главной

Таблица 3

## Прогнозируемый запас и стоимость древесины на корню

Показатели	№ секции, порода	Деловая древесина				Дрова	Отходы	Всего
		крупная	средняя	мелкая	Итого			
Прогнозируемый запас на 1 га, %/м <sup>3</sup>	2, Б	30/43,5	55/79,75	15/21,75	58/145	35/87,5	7/17,5	100/200
	3, Е	39/117,4	49/147,5	12/36,1	86/301	4/14	10/35	100/350
	4:							
	Б	30/34,8	55/63,8	15/17,4	58/116	35/70	7/14	100/200
	Е	39/117,4	49/147,5	12/36,1	86/301	4/14	10/35	100/350
Минимальные ставки лесных податей за древесину, р.	Б	52,0	37,1	18,8	–	1,8	–	–
	Е	94,0	66,9	33,7	–	1,6	–	–
Стоимость древесины, р.	2, Б	2262,0	2958,7	407,96	5628,7	157,5	–	5786,16
	3, Е	11035,6	9867,8	1216,6	22120	22,4	–	22142,4
	4:							
	Б	1809,6	2367,0	327,1	4503,1	126	–	4629,1
	Е	11035,6	9867,8	1216,6	22120	22,4	–	22142,4

рубки для березы 61 год, запас 200 м<sup>3</sup>/га, для ели соответственно 81 год и 350 м<sup>3</sup>/га.

Из данных табл. 3 следует, что наибольшую стоимость древесины на корню в возрасте спелости имеет насаждение с поэтапным выращиванием древесины березы и ели (секция 4), наименьшую – березовое (секция 2). В целях сопоставимости методом дисконтирования приведем будущие доходы к моменту первых затрат – первому приему рубок ухода (1990 г.).

На секции 2 доход от главной рубки на период проведения рубки ухода (28 лет – исходный возраст насаждения) составит  $5786,16 \cdot (1/(1 + 0,03)^{33}) = 2246,8$  р./га.

На секции 3 доход уменьшится до  $222142,4 \cdot (1/(1 + 0,03)^{53}) = 4760,6$  р./га.

На секции 4 доход от реализации древесины на корню составит  $4629,1 \cdot (1/(1 + 0,03)^{33}) = 1797,5$  р./га (береза) и 4760,6 р./га (ель). Суммарный доход на 1 га от продажи ели и березы на момент рубки главного пользования достигнет  $1797,5 + 4760,6 = 6558,1$  р.

Определим эффективность вариантов целевого назначения участка лесного фонда с учетом затрат и доходов от промежуточного и главного пользования. На секции 2 ЧДД =  $-234,61 + 2246,8 = 2012,19$  р./га.; на секции 3 ЧДД =  $-84,53 + 4760,6 = 4676,07$  р./га.; на секции 4 ЧДД =  $28,81 + 6558,1 = 6586,91$  р./га.

Как видим, доходы от реализации древесины по минимальным ставкам к сроку проведения главной рубки перекрывают затраты на проведение всех трех вариантов рубок ухода (ЧДД > 0). Вместе с тем наиболее эффективным является вариант поэтапного выращивания березы и ели.



Следовательно, вариант формирования березово-елового насаждения с поэтапным получением древесины, наряду с преимуществами в лесоводственном отношении, обладает наибольшей экономической эффективностью на момент как промежуточного, так и главного пользования.

Таким образом, расчеты показывают, что при планировании текущей хозяйственной деятельности в лесхозах и лесничествах следует переходить к практике сравнительной оценки вариантов использования земель лесного фонда, чтобы повысить экономическую эффективность производства и улучшить финансовое состояние.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жежкун А.Н. Перспективы устойчивого управления лесами юго-запада Нечерноземья России / А.Н. Жежкун, И.Н. Жежкун // Вопросы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. – Брянск, 2000. – Вып. 10. – С. 4–7.
2. Итоги XI Всемирного лесного конгресса. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 128 с.
3. Лесной кодекс Российской Федерации. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. – 66 с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – М.: НПКВЦ «Теринвест», 1994. – 80с.
5. Нормативно-справочные материалы для лесоустройства Брянской и смежных областей Российской Федерации. – Брянск: БрТИ, 1983. – 136 с.
6. Нормы выработки, нормы времени на рубки ухода за лесом в равнинных условиях. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. – 82 с.

Брянская государственная  
инженерно-технологическая академия

Поступила 08.04.02

*I.N. Zhezhkun, A.N. Zhezhkun*

#### **Comparative Efficiency of Target Stands Formation**

Economic efficiency of three variants of target stands formation has been estimated. Conclusions are drawn on economic feasibility of growing stands of different economic purpose taking into account time factor.

---

УДК 58.006:378.962 (470.343)

***Л.И. Котова***

Котова Любовь Ивановна родилась в 1941 г., окончила в 1963 г. Поволжский лесотехнический институт, директор Ботанического сада Марийского государственного технического университета. Имеет 38 печатных работ в области интродукции и акклиматизации растений.



**БОТАНИЧЕСКИЙ САД МарГТУ –  
УЧЕБНАЯ, НАУЧНАЯ  
И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БАЗА**

Приведены сведения о работе Ботанического сада как учебно-научно-производственной базы университета, а также просветительского центра в области интродукции растений в Среднем Поволжье.

*Ключевые слова:* ботанический сад, учебный процесс, научные исследования, связь с производством, воспитательная работа.

В 1939 г. приказом Наркомлеса СССР Поволжскому лесотехническому институту было передано в пользование 75,87 га лесной площади для «устройства дендрологического сада с питомниками». В 1989 г. по ходатайству коллектива сада и профессорско-преподавательского состава лесохозяйственного факультета решением выездного заседания Совета ботанических садов Урала и Поволжья, Научно-методического совета Государственного комитета образования СССР дендросад переименован в Ботанический сад Марийского государственного технического университета. Инициаторами создания сада были ректор ПЛТИ В.М. Пикалкин, проф. М.В. Колпиков и доц. Б.М. Алимбек. Научное руководство в разные годы осуществляли Б.М. Алимбек (1939–1976 гг.), проф. В.И. Пчелин (1976–1983 гг.), проф. М.М. Котов (с 1983 г.).

И сегодня Ботанический сад МарГТУ остается «зеленой жемчужиной» Марийского края, одним из лучших ботанических учреждений региона, выполняя разнообразные функции – учебную, научную, производственную и просветительскую. Об этом свидетельствуют паспорт на памятник природы за номером 1, коллекции семи лабораторий, насчитывающие около 5 тыс. таксонов древесных, кустарниковых и травянистых растений.

С первых дней существования Ботанический сад функционирует как учебная лаборатория. На базе живых коллекций и лабораторного оборудования будущие инженеры лесного и садово-паркового хозяйства, экологи-природопользователи проходят учебные практики по ботанике, дендрологии, физиологии растений, древоводству, цветоводству, декоративным растениям для зимних садов и интерьеров, вертикальному озеленению, селекции, основам биотехнологии, технологии производства недревесной продукции леса, пчеловодству, художественному плетению из лозы и аранжи-

ровке. Кроме теоретических знаний и практических навыков, студенты получают трудовое, нравственное и эстетическое воспитание. Этому способствуют экскурсионные занятия по экспозициям, непосредственный уход за объектами, оставленными старшими поколениями, и создание новых. Совместно с сотрудниками Ботанического сада и лесохозяйственного факультета студентами созданы: дендрарий, ландшафтные группы, уникальные в Поволжье посадки ели колючей, жетсуги Мензиса, сосны корейской, родиолы розовой, лавзеи сафлоровидной, элеутерококка колючего, лимонника китайского и других видов. Многие студенты проходят производственные и преддипломные практики на объектах Ботанического сада, ежегодно выпускники лесохозяйственного факультета защищают более десяти дипломных работ и проектов.

Ботанический сад является уникальной естественной лабораторией для проведения научных исследований в области ботаники, генетики, селекции, семеноводства, физиологии, интродукции, акклиматизации и адаптации растений. Результатом многолетних работ стали не только 10 защищенных кандидатских и 6 докторских диссертаций. В нем созданы посадки дуба черешчатого, выращенные из желудей, обработанных мутагенами, популетум, участок декоративных лиан, вересковый сад, школы полусибирского потомства ели колючей, сосны корейской, псевдотсуги Мензиса, элеутерококка колючего.

Научные разработки находят широкое практическое применение. Об этом свидетельствуют профессиональные и товарищеские связи с коллегами из других ботанических садов и дендрариев как в России, так и за рубежом. Обмен семенами и посадочным материалом только в 2001 г. был осуществлен с 64 организациями, в том числе находящимися в 15 странах ближнего и дальнего зарубежья, включая Италию, Францию, Польшу, Германию, Швейцарию. Восемь лесхозам Республики Мордовия и Чувашской Республики передан посадочный материал, а также технологии создания плантационных культур родиолы розовой, лавзеи сафлоровидной, пиона уклоняющегося, лимонника китайского, валерианы лекарственной и других лекарственных растений. Часть этой работы осуществлена при финансовой поддержке Института устойчивых сообществ США. В течение ряда лет Ботанический сад совместно с кафедрой лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии сотрудничает с Германской фармацевтической фирмой по изучению биологических ресурсов, заготовке и переработке нового лекарственного сырья. Ежегодно более 10 организаций заключают договоры на выполнение работ по внутреннему фитодизайну, наружному озеленению и проектированию дендрариев. Одними из крупных заказчиков были ФГУП «Марийский машиностроительный завод», ОАО «Маризэнерго», «Лукойл», администрация пос. Медведево, Сабы Республики Татарстан и др.

Ботанический сад МарГТУ включен в международные списки ботанических садов и арборетумов мира, является членом Совета ботанических садов России и регионального Совета ботанических садов Урала и Поволжья.

---

Сотрудники Ботанического сада широко пропагандируют свои достижения и знания. Они стали частыми гостями в республиканской печати, на радио и телевидении, где рассказывают о своих зеленых «питомцах». Ежегодно сад принимает более 3000 организованных экскурсантов.

К числу проблем следует отнести полное прекращение финансовой поддержки со стороны администрации Республики Марий Эл и города, невозможность полноценной охраны коллекций от порчи и хищений, низкий уровень оплаты труда сотрудников. В таких условиях режим плодотворной работы удается удерживать лишь благодаря энтузиазму сотрудников, постоянному вниманию со стороны ректората и безвозмездному труду студенческой молодежи.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 18.06.02

*L.I. Kotova*

**Botanic Garden of MarSTU – Educational, Scientific and Industrial Base**

Information on botanic garden work as an educational-research-production base of the University, as well as educational centre in plants introduction in the Middle Volga region is provided.

---

УДК 630\*181.5:674.031.623.2

**Л.В. Суханова**

Суханова Людмила Васильевна родилась в 1958 г., окончила в 1986 г. Марийский государственный университет, в 1997 г. Марийский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии МарГТУ. Имеет 10 печатных работ в области нектаропродуктивности растений.



### **РАЗМНОЖЕНИЕ НЕКТАРОПРОДУКТИВНОЙ ИВЫ ТРЕХТЫЧИНКОВОЙ ЧЕРЕНКАМИ**

Доказана возможность и целесообразность сохранения ценнейшего генофонда растений *Salix triandra* L. и создания высокопродуктивных плантаций.

*Ключевые слова:* ива трехтычинковая, нектаропродуктивность, размножение черенками.

Ива трехтычинковая *Salix triandra* L. (сем. *Salicaceae*) – кустарник высотой 5-6 м или дерево до 14 м [10]. Цветет в мае. Цветки имеют два нектарника и три тычинки [3]. Обильно выделяют нектар и пыльцу [2, 4–7, 11], в нектаре одного растения содержится от 22,2 до 24,0 г сахара [8]. Кора содержит до 17 % таннидов и до 5 % салицина [9]. Широко распространена в Центральной и Южной Европе, на Кавказе, в Средней Азии, Казахстане, Сибири, на юге Дальнего Востока. Растет в основном по берегам и поймам рек. Устойчива к длительному затоплению, размножается семенами и вегетативно. Наиболее распространенным способом вегетативного размножения растений *Salix* является черенкование, т. е. разведение зимними стеблевыми черенками, обычно однолетнего возраста. Для выращивания растений *Salix* необходимо подобрать оптимальные условия. Почва должна быть плодородной. Лучшими признаны легкие супесчаные почвы, можно использовать и торфяные, но только после их достаточной минерализации и добавления песка в верхний слой. Черенки нарезают непосредственно перед посадкой, которую осуществляют весной после оттаивания почвы или осенью со второй половины октября [9].

Плантационное выращивание *Salix* рекомендуется преимущественно либо на прут, либо на древесину [1]. Сведений о создании нектароносных плантаций и выращивании посадочного материала посредством черенкования по видам *Salix* вообще и по *Salix triandra* L., в частности, в литературе мы не встретили. Настоящая работа посвящена восполнению этого пробела.

В 1999–2000 гг. мы изучали нектаропродуктивность *Salix triandra* L. в Республике Марий Эл. По результатам эксперимента было отобрано растение, по нектаропродуктивности в 3,3 раза превышающее средние показатели растений того же вида, растущие в тех же условиях. Была изучена воз-

возможность размножения отобранного экземпляра в целях выращивания посадочного материала для создания нектароносной плантации. Эксперимент заключался в следующем.

В марте заготавливали однолетние ветви из всех частей кроны растения (1-й вариант). Использовали также ветви, обломанные кем-то случайно и лежавшие на снегу (2-й вариант). Ветви хранили в снегу в погребе. 19 мая 2000 г. их разрезали на черенки длиной 6 ... 15 см с пятью и более почками. Черенки высаживали в холодный временный парник, оставляя на поверхности субстрата одну почку. Основу субстрата составляла почва питомника – свежая среднесуглинистая слабоподзолистая. Добавляли 73 т песка и 36 т минерализованного торфа на 1 га. Площадь парника – 13,2 м<sup>2</sup>. Высажено 855 черенков по схеме 10 см между рядами и 8 см в ряду. Перед посадкой черенки ничем не обрабатывали, после посадки обильно поливали и притеняли рамами, обтянутыми лутросилом. Уход заключался в поливе и прополке 1 раз в 10 дней. В пасмурную дождливую погоду 1 июля 2000 г. парник открывали.

Наблюдения за приживаемостью черенков и ростом укоренившихся растений проводили с 19 мая по 5 сентября. Через каждые 7 ... 10 дней

Таблица 1

2

Показатели	Дата	Вариант опыта, шт./ %			Показатель достоверности различий между вариантами опыта	Уровень значимости
		1	2	Суммарно		
Количество высаженных черенков	19.05	<u>401</u>	<u>454</u>	<u>855</u>	–	–
		100	100	100		
Приживаемость	06.06	<u>322</u>	<u>386</u>	<u>708</u>	1,8	0,93
		80,0±2,0	85,0±1,7	83,0±1,3		
Сохранность	13.06	<u>305</u>	<u>360</u>	<u>665</u>	1,2	0,76
		76,0±2,1	79,0±2,1	78,0±1,4		
	19.06	<u>292</u>	<u>359</u>	<u>651</u>	2,1	0,96
		73,0±2,2	79,0±1,9	76,0±1,5		
	27.06	<u>284</u>	<u>354</u>	<u>638</u>	2,3	0,98
		71,0±2,3	78,0±2,0	75,0±1,5		
	04.07	<u>283</u>	<u>354</u>	<u>637</u>	2,4	0,98
		71,0±2,3	78,0±2,0	74,0±1,5		
	11.07	<u>277</u>	<u>352</u>	<u>629</u>	2,7	0,99
		69,0±2,3	77,0±2,0	74,0±1,5		
	21.07	<u>273</u>	<u>351</u>	<u>624</u>	3,0	1,00
		68,0±2,3	77,0±2,0	73,0±1,5		
	01.08	<u>272</u>	<u>350</u>	<u>622</u>	3,0	1,00
		68,0±2,3	77,0±2,0	73,0±1,5		
	11.08	<u>271</u>	<u>349</u>	<u>620</u>	3,0	1,00
		68,0±2,3	77,0±2,0	72,0±1,5		

29,08	$\frac{271}{68,0 \pm 2,3}$	$\frac{349}{77,0 \pm 2,0}$	$\frac{620}{72,0 \pm 1,5}$	3,0	1,00
-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----	------

замеряли высоту растений отдельно по вариантам заготовки. Динамика приживаемости и сохранности черенков отражена в табл. 1.

К прижившимся относили все черенки, у которых образовались корни, к сохранившимся – живые растения по состоянию на конец вегетации в год укоренения. Приживаемость черенков через 18 дн. после посадки составила  $83,0 \pm 1,3$  %, сохранность –  $73,0 \pm 1,5$  %. По вариантам заготовки ветвей приживаемость равна  $80,0 \pm 2,0$  % и  $85,0 \pm 1,7$  %, сохранность –  $68,0 \pm 2,3$  % и  $77,0 \pm 2,0$  %. Различия по приживаемости недостоверны ( $t_d = 1,8$ ), а по сохранности достоверны ( $t_d = 3,0$ ).

Анализ 235 усохших черенков показал, что у 147 нет корней.

Образование корней, приживаемость и отпад не зависят ни от диаметра черенков ( $t_d = 0,5$  и  $1,5$ ), ни от варианта их заготовки ( $t_d = 1,8$ ) (табл. 2).

Динамика отпада прижившихся черенков в течение вегетационного периода описывается уравнением второго порядка  $y = 0,0024x^2 - 0,3812x + 86,829$ ;  $R^2 = 0,8975$  (рис. 1).

Таблица 2

Вариант опыта	Категория черенков	Статистические показатели диаметра черенков				
		$\bar{x}$ , мм	$m_x$ , мм	$V$ , %	$p$ , %	$t_d$
1	С корнями	2,2	0,13	34	5,0	0,5
	Без корней	2,6	0,14	30	5,3	
	Суммарно	2,6	0,09	33	3,6	
2	С корнями	3,2	0,23	45	7,3	1,5
	Без корней	2,7	0,16	39	5,8	
	Суммарно	2,9	0,14	42	4,6	

Примечание.  $\bar{x}$  – среднее значение признака;  $m_x$  – ошибка среднего значения признака;  $V$  – коэффициент вариации;  $p$  – точность оценки средней.

Важным признаком является рост прижившихся растений в высоту (табл. 3).

Через две недели после посадки черенков в парник начинают распускаться и ростовые, и цветочные почки. Дальнейшие на-

блюдения показали, что одни почки распускаются за счет внутренних ресурсов и затем усыхают, другие продолжают расти. Через 18 дн. после посадки максимальный прирост составил 7 см, минимальный 0,1 см (внешне

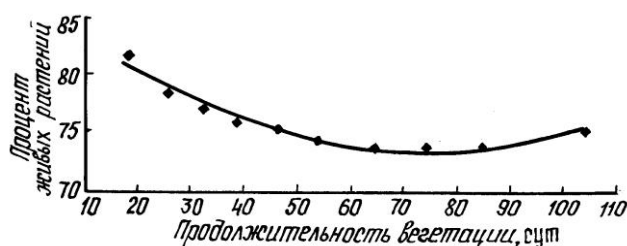


Рис. 1.

это выражается как основание розетки листочков). Рост продолжается в течение 102 дн. К концу вегетации высота отдельных стеблей достигла 149 см, средний прирост 52,3 см. У 67 растений (11 %) в первый же год образовались боковые побеги.

Таблица 3

Дата наблюдения	Продолжительность вегетации, дн.	Статистические показатели высоты черенков					
		min, см	max, см	$\bar{x}$ , см	$m_x$ , см	V, %	$p$ , %
06.06	18	0,1	7	1,3	0,1	86	4,8
13.06	25	0,1	12	1,6	0,1	115	4,3
19.06	31	0,1	16	2,9	0,1	94	3,5
27.06	39	0,1	25	6,3	0,2	72	2,8
04.07	46	0,1	31	8,5	0,2	64	2,5
11.07	53	0,1	37	11,4	0,3	59	2,3
21.07	63	0,2	62	17,6	0,4	60	2,4
01.08	74	1,0	94	29,2	0,7	59	2,4
11.08	84	2,5	118	40,3	0,9	54	2,2
29.08	102	3,0	149	52,3	1,1	51	2,0

Примечание. min – минимальное, max – максимальное значение признака.

2\*

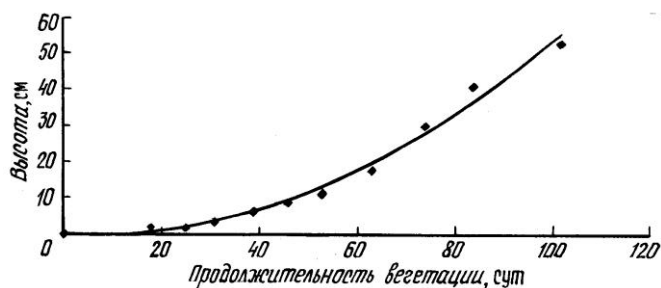


Рис. 2.

Динамика роста укоренившихся растений в высоту в течение вегетационного периода описывается уравнением параболы второго порядка  $y = 0,006x^2 - 0,0755x$ ;  $R^2 = 0,9893$  (рис. 2). Различия между вариантами незначимы.

Наибольшая скорость роста в высоту приходится на период с 1 по 11 августа, которая равна 11,1 мм/сут (рис. 3). С 11 по 29 августа скорость роста падает до 6,7 мм/сут, по вариантам до 7,4 и 6,2 мм/сут соответственно. Рост заканчивается к 5 сентября.



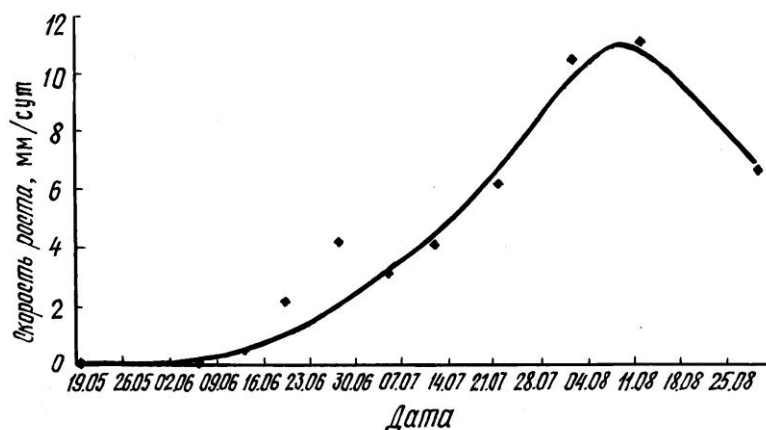


Рис. 3.

К концу вегетации растения достигли следующих размеров (табл. 4).

Таблица 4

Категория растений по крупности	Стебель			Черенки		Корни			
	Длина, см	Диаметр у основания, мм	Число боковых побегов, шт.	Длина, см	Диаметр, мм	Число придаточных корней, шт.	Наличие боковых корней		Длина корневой системы, см
							I порядка	II порядка	
Крупные	118	8	3	15	6,0	25	Есть	Есть	54
Средние	54	4	0	12	4,0	17	«	«	45
Мелкие	33	3	0	10	2,5	19	«	«	31

Примечание. Придаточные корни образуются на черенке; боковые корни I порядка – на придаточных.

Можно видеть, что в отличие от приживаемости и сохранности черенков, рост и конечные размеры растений в первый год положительно коррелируют с размерами высаженных черенков. Уже в первый год наблюдается гармоничность роста стебля и корней.

В среднем с 1 м<sup>2</sup> парника получено 47 укоренившихся растений. По высоте надземной части они распределились следующим образом:

Степень высоты, см	1	...20	21	...40	41	... 60	61	... 80	81	... 100	101	... 120	121	...140	141	...160
Процент растений			11		26		28		21		11		3		1	0,2

Несмотря на существенную изменчивость растений по высоте, все они могут быть использованы в качестве посадочного материала при создании специализированных плантаций для сбора нектара, опушек в зоне действия пасек, при реконструкции существующих насаждений вокруг пасек. При размещении растений по садовому типу (5 × 5 м) на 1 га плантаций требуется 400 саженцев. Их можно получить с 8,5 м<sup>2</sup> парников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферов Г.И. Ива / Г.И. Анциферов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 101 с.
2. Глухов М.М. Медоносные растения / М.М. Глухов. – М.: Колос, 1974. – 304 с.
3. Деревья и кустарники СССР. В 6 т. Т. 2. Покрытосеменные. – М.; Л.: АН СССР, 1951. – 591 с.
4. Ерофеев Н.С. Ресурсы медоносных растений Мордовской АССР / Н.С. Ерофеев // Растит. ресурсы. – 1980. – Т. 16, вып. 2. – С. 167–176.
5. Киреев А.Ф. Родная природа / А.Ф. Киреев. – Волгоград, 1967. – 260 с.
6. Копелькиевский Г.В. Улучшение кормовой базы пчеловодства / Г.В. Копелькиевский, А.Н. Бурмистров. – М.: Россельхозиздат, 1965. – 166 с.
7. Кучеров Е.В. Медоносные растения Башкирии / Е.В. Кучеров, С.М. Си-раева. – М.: Наука, 1980. – 128 с.
8. Пельменев В.К. Медопродуктивность древесных растений кедрово-широколиственных лесов советского Дальнего Востока и их охрана / В.К. Пельменев, И.В. Усенко // Растит. ресурсы. – 1969. – Т. 5, вып. 4. – С. 535–538.
9. Правдин Л.Ф. Ива, ее культура и использование / Л.Ф. Правдин. – М.: АН СССР, 1952. – 168 с.
10. Растительные ресурсы СССР. – Л.: Наука, 1986. – 336 с.
11. Руднянская Е.И. Пыльцевая продуктивность пойменных лесов Волгоградской области / Е.И. Руднянская // Растит. ресурсы. – 1987. – Т. 23, вып. 4. – С. 616–621.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 18.06.02

*L.V. Sukhanova*

### **Reproduction of Nectariferous *Salix Triandra* L. by Branch Cutting**

Possibility and expediency of preserving the most valuable gene pool of plants *Salix Triandra* L. and creation of highlyproductive plantations are proved.

---

УДК 630\*166.1:582.892(470.343)

### ***Н.А. Разумников***

Разумников Николай Александрович родился в 1963 г., окончил в 1989 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Марийского государственного технического университета. Имеет 27 публикаций в области интродукции растений.



## **ЭЛЕУТЕРОКОКК КОЛЮЧИЙ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ**

Приведены результаты 10-летних исследований роста и плодоношения интродуцированных растений элеутерококка колючего на окультуренных слабоподзолистых среднесуглинистых и легкоглинистых почвах.

*Ключевые слова:* элеутерококк колючий, интродукция, рост, плодоношение.

Элеутерококк колючий – листопадный кустарник семейства аралиевых – широко известен благодаря наличию в корнях, корневищах и стеблях гликозидов и других биологически активных веществ. Жидкий экстракт из корней и корневищ используется как эффективное неспецифическое средство профилактики и терапии многих тяжелых заболеваний человека и животных [5, 9]. В связи с ограниченностью естественных доступных запасов, изменением условий произрастания, вызванным массовой заготовкой сырья, вид интродуцирован во многие регионы [8], в том числе Республику Марий Эл [12–14].

Северная граница естественного ареала элеутерококка колючего доходит до 52° 50' с.ш. [11]. Этот мезотрофный и мезофитный вид зимостоек, морозоустойчив, светолюбив, но выносит и затенение [1]. Корнесобственные растения вступают в фазу плодоношения в 3-летнем возрасте. Цветет ежегодно, но плодоносит периодически. В подлеске в разнокустарниковых типах леса завязывается 29 ... 67 % плодов [2]. Максимальный возраст надземных побегов составляет 11 ... 13, реже до 15 лет [4, 7]. Почвенно-эдафические условия произрастания элеутерококка влажные и свежие, с содержанием гумуса от 1,8 до 20,0 %, от супесчаных до тяжелосуглинистых.

Учитывая различия природно-климатических условий естественного ареала и региона интродукции элеутерококка колючего, мы изучали рост, репродуктивную способность, качество корней и корневищ интродуцированных растений. Исследования проводили в 1991 – 2001 гг. на пробной площади в кв. 20 Чернышевского лесничества Арсеньевского лесхоза Приморского края и в интродукционной культуре Ботанического сада Республики Марий Эл.

Выбор Арсеньевского лесхоза Приморского края методически обусловлен двумя причинами. С одной стороны, район экологического оптимума элеутерококка колючего совпадает с районами распространения кед-

рово-широколиственных лесов [6]. Поэтому нельзя не учитывать принципы лесосеменного районирования основных лесобразующих пород [10], где в том числе рассматриваются вопросы районирования кедра корейского, спутником которого является элеутерококк колючий. Сравнение природно-климатических факторов показало наибольшую близость климатических показателей Республики Марий Эл со Среднеамурским районом, в Сихотэ-Алиньский лесосеменной подрайон которого входит территориально Арсеньевский лесхоз. С другой стороны, одновременно в целях сохранения генетической природы привлекаемого материала и уменьшения размаха фенотипической изменчивости считаем оптимальным привлечение исходного или посадочного материала элеутерококка из вышеуказанных районов с учетом эдафических условий.

В естественном ареале кусты изучали в редине у подножия юго-восточного склона сопки крутизной до 20°. В условиях интродукции растения элеутерококка колючего растут в питомнике и биогруппой в окне изреженного березового насаждения с примесью липы, западная сторона имеет практически полное освещение. Тип лесорастительных условий участка – С<sub>2</sub>. Физико-химические свойства почв на участках произрастания растений приведены в табл. 1.

Влагообеспеченность корнеобитаемого слоя (0 ... 20 см) сходных по гранулометрическому составу бурой горно-лесной и слабоподзолистой почв различна. Содержание гигроскопической влаги в бурой горно-лесной почве

Таблица 1

Глубина, см	Гигроскопическая влага, %	Гумус, %	рН солевой	Сумма обменных оснований, мг-экв. на 100 г почвы	Азот щелочно-гидролизный	Фосфор подвижный	Калий обменный
					мг/100 г почвы		
Арсеньевский лесхоз Приморского края							
Почва бурая горно-лесная на элюво-делювии плотных пород							
6...22	3,6	7,3	5,8	38,0	36,4	3,5	18,0
Ботанический сад Республики Марий Эл							
Почва окультуренная, слабоподзолистая крупнопылевато-легкосуглинистая на покровных суглинках (под биогруппой)							
0...10	1,1*	3,4	6,7	24,5	9,8*	9,4	9,9
10...20		2,7	6,6	24,3		13,6	7,3
20...40		1,3	0,7	4,3		15,3	13,5
Почва окультуренная, слабоподзолистая легкосуглинистая на покровных суглинках (в питомнике)							
0...10	1,4*	5,1	7,0	24,5	11,2*	21,6	17,4
10...20		4,2	7,0	24,3		20,5	19,3
20...40		2,0	0,6	5,6		15,3	17,5

\* Показатель для смешанного образца 0...20 см.

Таблица 2

Показатели	1991 г.			2001 г.		
	Арсеньевский лесхоз, А = 8 лет	Ботанический сад Республики Марий Эл		Ботанический сад Республики Марий Эл		
		А = 7 лет	А = 20 лет	А = 8 лет	А = 17 лет	А = 30 лет
Высота, м	...	0,9 ± 0,1	1,7 ± 0,3	1,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Длина основного стволика, см	201,2 ± 10,7	90,4 ± 5,1	158,5 ± 0,5	...		
Текущий прирост основного ство- лика, см	22,4 ± 3,3	32,0 ± 5,1	18,8 ± 3,7	24,3 ± 4,9	–	–
Число стволиков и отпрысков, шт.	–	1,0 ± 0,4	7,5 ± 0,5	2,2 ± 0,5	7,2 ± 2,8	8,6 ± 1,3
Текущий прирост вегетативных стволиков, см	...			55,3 ± 7,1	74,4 ± 7,1	48,9 ± 3,3
Число ветвей, шт., порядка:						
I	8,1 ± 0,7	2,4 ± 0,5	32,0 ± 9,0	4,8 ± 0,9	28,5 ± 0,5	19,0 ± 6,1
II	5,9 ± 1,3	0,6 ± 0,4	38,5 ± 9,5	9,3 ± 3,0	37,5 ± 9,5	20,0 ± 7,4
III	1,1 ± 0,6	0	8,5 ± 1,5	1,8 ± 0,9	23,5 ± 3,5	14,0 ± 3,2
Текущий прирост ветвей, см, порядка:						
I	17,7 ± 1,4	24,0 ± 4,2	20,2 ± 1,7	28,4 ± 2,0	21,3 ± 0,8	22,3 ± 3,6
II	14,9 ± 1,3	14,0 ± 6,7	15,1 ± 1,3	4,2 ± 0,1	14,6 ± 1,9	11,9 ± 3,0
III	10,3 ± 2,0	–	12,3 ± 1,9	–	4,0 ± 0,8	4,0 ± 1,0

в 2,6 – 3,3 раза выше, чем в слабоподзолистой. Почти все показатели плодородия почвы, кроме обеспеченности подвижным фосфором, в естественном ареале выше, чем в интродукционной культуре.

Данные сравнительного изучения роста элеутерококка колючего в различных почвенно-эдафических условиях произрастания за 1991 и 2001 гг. приведены в табл. 2.

Корнесобственные растения в возрасте 7 и старше 20 лет, привезенные из ГБС РАН, уступали в росте 8-летним растениям, произрастающим в естественном ареале. Различия в показателях развития элеутерококка в Арсеньевском лесхозе и интродуцированных 7-летних растений обуславливаются вегетативным происхождением первых и ранее отмеченными высокими агрохимическими показателями почвы. Сильный рост стволиков вегетативного происхождения проявляется и в условиях интродукции, что с возрастом приводит к формированию кустов из 7-9 стволиков высотой до 3 м. Одновременно со старением кустов основные стволики или самые «старые», их замещающие, ослабевают в росте либо имеют отрицательный прирост. Закономерность образования годичных приростов, по величине убывающих от I к III порядку, также сохраняется. В изученных группах растений про-

должительность жизни стволиков не превышала 9 ... 11 лет. Следовательно, максимальная продолжительность жизни надземных побегов 10 ... 15 лет при значительно большем долголетии самого растения, характерная для элеутерококка в естественном ареале [4, 7], сохраняется и в условиях интродукции.

В учетный период интродуцированные растения отличались положительной динамикой роста до 17 лет. У растений в возрасте около 30 лет отмечалось массовое усыхание старых стволиков, которые спиливали. По состоянию на 2001 г. средняя высота растений составила  $1,9 \pm 0,1$  м.

Таким образом, в условиях интродукции реализуется биологическое свойство элеутерококка колючего непрерывно вегетативно омолаживаться и оставаться в продуцирующем состоянии. Эта особенность ценна в хозяйственном отношении: заложенная плантация элеутерококка, начиная с эксплуатационного возраста, при ежегодной заготовке корней не более 25 % и прижизненном использовании в качестве сырья всех органов растения, может функционировать в течение достаточно продолжительного времени.

Наблюдения показали, что в условиях интродукции наиболее развитые корнесобственные растения вступают в пору плодоношения в 3-4 – летнем возрасте (как и в естественном ареале), большинство – в возрасте 5 лет. Побег вегетативного происхождения плодоносит с 2-летнего возраста. В учетный период доля бутонов, реализовавшихся в плоды, не превышала  $74,9 \pm 3,9$  % ( $V = 31,9$  %), что больше аналогичных показателей в естественном ареале. Семенное потомство жизнеспособно.

Во всех биогруппах наблюдаемых растений отмечены особи выше средних по росту, развитию и плодоношению, что является существенной предпосылкой для селекции.

Целесообразность введения элеутерококка колючего в плантационную культуру подтверждается и его практическим значением. Проведенные качественные тесты подлинности лекарственного сырья в соответствии с требованиями ВФС 42-603-72 и ФС 42-2833-92 [3, 15] подтвердили присутствие БАВ в корнях и корневищах интродуцированных растений. Выход экстрактивных веществ в пересчете на абс. сухое сырье составил 15,5 % при минимуме 8,0 %. Извлечением экстракта из корней и корневищ данных растений 40 %-м этиловым спиртом, согласно требованиям ФС 42-2833-92, установлено содержание суммы элеутерозидов в пересчете на элеутерозид В  $0,144 \pm 0,001$  % (при нормативе 0,12 %).

Наши 10-летние исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Закономерности роста и плодоношения растения элеутерококка колючего в Приморском крае и интродукционной культуре Республики Марий Эл существенно не различаются.

2. Элеутерококк колючий как вид вполне пригоден для расширения биоразнообразия Республики Марий Эл и сопредельных с ней районов.

3. Соответствие корней и корневищ интродуцированных растений требованиям фармакопейных статей подтверждает их лекарственные свойства и возможность применения в официальной и народной медицине.

4. Для выращивания в культуре наиболее пригодны свежие плодородные легко- и среднесуглинистые почвы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ареалы деревьев и кустарников СССР: в 3 ч./ Под ред. С.Я. Соколова. – Л., 1986. – Т. 3. – 182 с.
2. Воробьева П.П. О семенном размножении элеутерококка колючего / П.П. Воробьева // Бюл. Гл. ботан. сада. – 1965. – Вып. 60. – С. 49–54.
3. ВФС 42-603–72. Корневище и корень элеутерококка. – Введ. 01.01.73.
4. Гриневич М.А. Элеутерококк / М.А. Гриневич. – Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1970. – 40 с.
5. Дардымов И.В. Женьшень, элеутерококк: к механизму биологического действия / И.В. Дардымов. – М.: Наука, 1976. – 184 с.
6. Дюкарев В.Н. Продуктивность биомассы *Eleuterococcus senticosus* Rupr. Et Maxim / В.Н. Дюкарев, Т.А. Комарова // Раст. ресурсы. – 1986. – № 4. – С. 481–487.
7. Измоденов А.Г. Богатства кедрово-широколиственных лесов / А.Г. Измоденов. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 120 с.
8. Коляда А.С. К вопросу охраны дальневосточных представителей семейства *Araliaceae* / А.С. Коляда // Растения в муссонном климате: матер. Междунар. конф., посвящ. 50-летию Ботан. сада Ин-та ДВО РАН. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – С. 264–266.
9. Лазарев Н.В. Актуальные вопросы изучения действия адаптогенов, в том числе препаратов элеутерококка колючего / Н.В. Лазарев // Симпозиум по элеутерококку и женьшеню (XX сессия комитета по изучению женьшеня и других лекарственных растений Дальнего Востока). – Владивосток, 1962. – С. 7–10.
10. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 367 с.
11. Нечаев А.П. Северная граница элеутерококка колючего / А.П. Нечаев // Итоги изучения элеутерококка колючего в Советском Союзе. – Владивосток, 1966. – С. 11–12.
12. Разумников Н.А. Сравнительный анализ роста и плодоношения элеутерококка колючего в Ботаническом саду МарПИИ / Н.А. Разумников, М.М. Котов // Интродукция, акклиматизация, охрана и использование растений в степной зоне: тез. докл. науч. конф. – Самара: СамГУ, 1992. – С. 29–30.
13. Разумников Н.А. Опыт интродукции элеутерококка колючего в Республику Марий Эл / Н.А. Разумников, М.М. Котов // Растения в муссонном климате: матер. Междунар. конф., посвященной 50-летию Ботан. сада Ин-та ДВО РАН. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – С. 228–230.
14. Разумников Н.А. Изменение прохождения феноритма как элемент адаптации элеутерококка колючего в условиях интродукции / Н.А. Разумников, М.М. Котов // Проблемы лесоводства и лесовосстановления на Алтае: тез. докл. I Междунар. конф. – Барнаул: АГУ, 2001. – С. 88–90.

---

15. ФС 42-2833-92. Экстракт элеутерококка жидкий. – Введ. 27.04.92.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 18.06.02

*N.A. Razumnikov*

***Eleutherococcus Senticosus* in the Mari El Republic**

Results of 10-years research of growth and fruit bearing of introduced *Eleutherococcus senticosus* on cultivated weak-podzol, average loamy and light-clay soils are provided.

---



УДК 630\*181

**В.Н. Карасев, М. А. Карасева**

Карасев Валерий Николаевич родился в 1942 г., окончил в 1965 г. Поволжский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии Марийского государственного технического университета. Имеет более 80 научных и методических работ в области диагностики физиологического состояния и жизнеспособности древесных растений.



Карасева Маргарита Антиповна родилась в 1941 г., окончила в 1965 г. Поволжский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Марийского государственного технического университета. Имеет более 90 печатных работ в области искусственного лесовосстановления и интродукции древесных растений.

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА  
ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ  
ХВОЙНЫХ ПОРОД**

Приведены результаты исследований информативной ценности биоэлектрических и морфометрических параметров для диагностики физиологического состояния и жизнеспособности деревьев хвойных пород при различных типах повреждений. Разработан новый биофизический метод диагностики жизнеспособности древесных растений по температуре стволов в заданных точках.

*Ключевые слова:* диагностика, хвойные древесные растения, БЭП, термоэкспресс-метод.

Существующие традиционные физиолого-биохимические методы оценки жизнеспособности древесных растений малоприменимы для широкого применения из-за своей сложности и трудоемкости. Гораздо большие преимущества имеют биофизические методы, из которых известны биопотенциалметрия [1, 6–8], вариации методов, связанные с определением полного электрического сопротивления (импеданс) растительных тканей, определение поляризационной емкости [7] и др.

Новое направление в получении информации о физиологическом состоянии и жизнеспособности древесных растений основано на оценке тепловых параметров [2–5] и обусловлено наличием тесной связи между состоянием деревьев, водным режимом и температурой стволов.

Суточный ход температуры деревьев коррелирует с суточным ходом солнечной радиации и температуры воздуха и смещен по сравнению с ними во времени, что связано с теплоемкостью, теплопроводностью, теплоотдачей, диаметром, расходом воды деревом, степенью жизнеспособности и др.

Скорость водного тока и расход воды определенным образом соотносятся с уровнем жизнеспособности дерева. Следовательно, при одинаковом притоке тепла извне динамика изменения температуры ствола отражает жизнеспособность дерева как целостной биологической системы, так как любые существенные нарушения водного тока в корнях, стволовой части, кроне немедленно сказываются на температуре ствола дерева и других его частей.

Между расходом воды на транспирацию и массой хвои на дереве, а также между расходом воды и температурой ствола существует определенная связь. Так, для деревьев сосны обыкновенной диаметром  $25,0 \pm 1,0$  см при суточной максимальной температуре воздуха  $28^\circ\text{C}$  связь между расходом воды на транспирацию и температурой ствола с северной стороны (на высоте 1,3 м, в средней части водопроводящей зоны) обратная и очень высокая ( $r = -0,985$ ) и описывается уравнением

$$Y = 19,756 - 0,767 X,$$

где  $Y$  – расход воды деревом на транспирацию, кг/ч;

$X$  – температура ствола в заданной точке,  $^\circ\text{C}$ .

Аналогичная зависимость наблюдается и для деревьев лиственницы сибирской такого же диаметра.

Для реализации диагностики жизнеспособности деревьев по тепловому методу достаточно измерить температуру ствола в заданной точке, которая выявлена на основании исследований зависимости температуры ствола от диаметра, высоты, сторон света, времени суток, времени года и находится в нижней части ствола в зоне наибольших инверсий температур.

Впервые этот метод был использован для диагностики жизнеспособности деревьев сосны обыкновенной, поврежденных во время лесных пожаров 1972 г. Комплексные физиологические исследования деревьев сосны различной жизнеспособности проводили в древостоях полнотой 0,6–0,7,

Таблица 1

Показатели	Категория жизнеспособности деревьев			
	Здоровые	Средне-поврежденные	Сильно-поврежденные	Усыхающие
Масса сырой хвои на дереве, кг	42,2	18,0	7,6	2,0
Интенсивность транспирации (на сырую массу хвои), г/(кг·ч)	131,6	122,0	98,1	59,3
Скорость водного тока, м/ч	0,32	0,21	0,14	0,04
Расход воды деревом, кг/ч	5,53	2,20	0,75	0,12
Влажность водопроводящей ксилемы ( $H = 1,3$ м), % к абс. сух. массе:				
через 1 год	143,0	120,0	115,0	159,0
через 2 года	125,0	111,0	86,0	25,6
Влажность хвои, %:				
1-летней	150,0	142,3	131,2	104,4
2-летней	117,0	108,8	105,1	81,5

Содержание хлорофилла, мг/г				
сухой хвои:				
в 1-летней хвое	1,246	1,026	0,902	0,608
в 2-летней хвое	1,623	1,262	1,073	0,644
Абс. сухая масса				
100 хвоинок, г				
1-летних	3,66	3,33	2,98	0,92
2-летних	3,84	3,51	2,67	1,03
Повреждение камбия по				
окружности ( $H = 0,5$ м), %	–	20,0	65,0	85,0
Высота нагара ствола, м	–	3,0	4,5	4,5

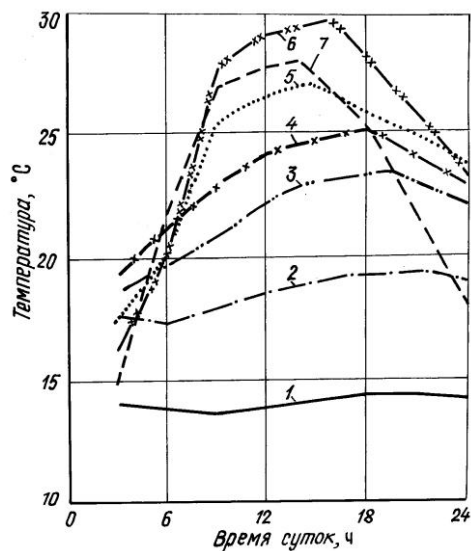
пройденных низовым пожаром средней интенсивности. Средняя высота деревьев  $19,0 \pm 0,6$  м, диаметр  $25 \pm 1$  см, возраст 40 ... 50 лет, состав 10С, местоположение участка возвышенное, почва дерново-среднеподзолистая песчаная, тип леса сосняк лишайниково-мшистый. Биологическая характеристика деревьев сосны различной жизнеспособности на второй год после пожара ( $p = 0,95$ ) приведена в табл. 1.

Деревья различных категорий жизнеспособности отличались по основным биологическим параметрам. Существенное различие по таким показателям, как влажность ксилемы и хвои, масса 100 хвоинок, содержание общего хлорофилла, наступает не ранее чем через 1–2 года после повреждения пожаром. Различие в скорости водного тока, интенсивности транспирации, расходе воды деревом, а также температуре стволов в заданных точках становится существенным сразу же после пожара.

Степень повреждения камбия, хотя и определяет состояние дерева, но установление количественной меры этого показателя сопряжено с риском еще большего ослабления сохранивших жизнеспособность деревьев.

Дневной ход температуры водопроводящей зоны для деревьев сосны диаметром  $25 \pm 1$  см различного состояния на высоте 1,3 м с северной сто-

Дневной ход температуры в заданной точке стволов деревьев на второй год после низового пожара: 1 – корнеобитаемый слой почвы на глубине 0,7 м; 2 – деревья, не поврежденные пожаром; 3 – среднеповрежденные; 4 – сильноповрежденные; 5 – усыхающие; 6 – мертвые; 7 – воздух



роны стволов приведен на рисунке. Разница температур в заданных точках между стволами здоровых и усыхающих деревьев при антициклоническом типе погоды достигает 10 ... 14 °C. С учетом существенности различий в этом температурном интервале можно выделить 9 ... 11 и более градаций жизнеспособности деревьев. Стволы здоровых деревьев, благодаря большей скорости водного тока и значительной теплоемкости, противостоят нагревающему действию солнечной радиации и окружающего воздуха намного эффективнее, чем стволы ослабленных и тем более усыхающих деревьев.

Различие в температуре стволов деревьев разных категорий жизнеспособности сохраняется в течение всего лета, захватывая частично и осенний период. При выравнивании максимальных суточных температур воздуха и температуры корнеобитаемого слоя почвы, примерно с середины сентября, различия в температуре стволов деревьев становятся незначительными.

Термоэкспресс-метод обладает высокой информативностью в течение всего вегетационного периода, а также и в ранневесенний период, когда многие электрофизиологические методы достоверной информации дать не могут по ряду причин. Например, жизнеспособность деревьев по величинам биоэлектрических потенциалов (БЭП) рекомендуется оценивать в середине лета, так как в ранневесенний период амплитуда БЭП находится на подъеме и еще недостаточно выражена. Это обстоятельство вообще не позволяет развернуть работы по оценке жизнеспособности данным методом в начале вегетационного периода, например в случае повреждения деревьев, в первую очередь хвойных пород, ранневесенней засухой, которая начинается задолго до оттаивания корнеобитаемого слоя почвы.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют, что в 97,4 % случаев температура стволов, поврежденных пожаром, связана с их состоя-

нием, а в 2,6 % обусловлена другими причинами. Величины БЭП в данной ситуации лишь в 13,7 % случаев отражают жизнеспособность деревьев, а импеданс прикамбиального комплекса тканей (ПКТ) — в 61,0 %. Высокие значения коэффициента детерминации, характеризующие связь температуры стволов деревьев с их жизнеспособностью, получены и при других типах повреждений.

Такие параметры, как содержание общего хлорофилла и биометрические показатели, дают информацию не менее чем через год после повреждения, а оценка жизнеспособности по величинам БЭП и импедансу ПКТ часто вообще не дает достоверной информации о состоянии, что объясняется случайным подключением электродов к участкам растительных тканей, сохранившим жизнеспособность, так как повреждение, например, прикамбиального комплекса тканей стволов деревьев во время пожаров имеет неравномерный характер из-за различной толщины корки. В случае ослабления деревьев длительно действующими факторами среды электрофизиологические методы дают хорошие результаты.

Термоэкспресс-метод, по сравнению с электрофизиологическими, характеризуется высокими достоверностью результатов, точностью и малыми значениями коэффициента вариации измеряемого параметра при всех типах повреждений (табл. 2).

Таблица 2

Метод оценки жизнеспособности деревьев	Коэффициент вариации $C$ , %	Точность опыта $P$ , %	Достоверность результатов $t$	Нижний предел доверительного интервала коэффициента детерминации $\eta^2$
Экстремальное, тепловое при низовых пожарах (сосна)				
Термоэкспресс-метод	2,02	0,50	187,4	0,974
По величинам БЭП	27,20	7,83	12,7	0,137
По импедансу ПКТ	8,62	3,11	35,9	0,610
Экстремальное, во время ранневесенней засухи (ель)				
Термоэкспресс-метод	1,81	0,57	187,7	0,709
По величинам БЭП		Н е п р и г о д е н		
По импедансу ПКТ	46,58	7,27	18,05	0,439
Длительно действующее, при корневой губке (сосна)				
Термоэкспресс-метод	1,73	0,43	237,0	0,767
По величинам БЭП	12,83	3,87	26,4	0,910
По импедансу ПКТ	20,18	6,70	18,6	0,909
Длительно действующее, при избыточном увлажнении (сосна)				
Термоэкспресс-метод	2,31	0,70	139,8	0,965
По величинам БЭП	20,70	5,97	18,1	0,757
По импедансу ПКТ	19,52	5,43	21,6	0,909

Таким образом, результаты комплексных эколого-физиологических исследований показывают, что при всех типах повреждений, связанных с нарушением водного режима растений, и в течение всего вегетационного периода наиболее информативен термоэкспресс-метод ранней диагностики физиологического состояния древесных растений. Связь температуры стволов с состоянием деревьев высокая и обратная, коэффициент детерминации варьирует в пределах 0,710 ... 0,974. Электрофизиологические методы низкоинформативны на объектах с экстремальными типами повреждений ( $\eta^2 = 0,137 \dots 0,610$ ) и высокоинформативны ( $\eta^2 = 0,757 \dots 0,910$ ) при ослаблении деревьев какими-либо длительно действующими факторами среды. Тепловые методы оценки состояния деревьев, по сравнению с электрофизиологическими, обладают перспективой дистанционного получения информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарудный И.Н. Биоэлектрический потенциал как метод определения жизнеспособности подроста древесных пород / И.Н. Зарудный // Науч. тр. ЛТА. – 1970. – № 127. – С. 35–41.
2. Жирин В.М. Дистанционное зондирование при изучении динамики лесных экосистем за рубежом: обзор. информ. / В.М. Жирин. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1993. – 40 с. – (Лесоводство и лесоведение; вып. 2).
3. Карасев В.Н. Физиология растений: учеб. пособие / В.Н. Карасев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 304 с.
4. Карасев В.Н. Температурный режим деревьев сосны обыкновенной, поврежденных пожаром / В.Н. Карасев, М.А. Карасева // Матер. науч. конф. по итогам науч.-исслед. работ МПИ за 1974 г. Секция: Лесн. хоз-во. – Йошкар-Ола, 1975. – С. 21–24.
5. Карасев В.Н. Гетерогенность популяций хвойных Среднего Поволжья по физиологическим и биоэлектрическим параметрам / В.Н. Карасев, М.А. Карасева // Экология и генетика популяций: матер. Всерос. популяц. семинара. – Йошкар-Ола: Периодика, 1998. – С. 253–255.
6. Коловский Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений / Р.А. Коловский. – Новосибирск: Наука, 1980. – 176 с.
7. Рутковский И. В. Применение электрофизиологических методов в лесовыращивании / И.В. Рутковский, Ф.В. Кишенков // Лесоведение и лесоводство. – 1980. – Вып. 3. – 40 с.
8. Шеверножук Р.Г. Функциональная диагностика адаптивных свойств растений и перспективы ее использования в лесной селекции: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Р.Г. Шеверножук. – Брянск, 1997. – 35 с.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 18.06.02

V.N. Karasev, M.A. Karaseva

#### Ecological-and-physiological Diagnostics of Coniferous Trees Viability

Study results are provided on the informational value of bioelectric and morphometric parameters for diagnostics of physiological state and viability of coniferous trees under different damage types. New biophysical diagnostic method of trees viability according to the stem temperature at the specified points has been developed.



УДК 625.711.84

**А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, П.А. Протас**

Федоренчик Александр Семенович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок, проректор по учебной работе Белорусского государственного технологического университета. Имеет около 160 печатных работ по вопросам разработки и совместимости лесной техники с окружающей средой, лесной сертификации, ресурсосберегающих технологий заготовки древесины при рубках главного пользования, совершенствования методов расчета лесоскладских потоков, лесного образования.



Макаревич Сергей Степанович родился в 1931 г., окончил в 1955 г. Белорусский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов Белорусского государственного технологического университета. Имеет 120 печатных работ в области расчета слоистых конструкций, устойчивости элементов конструкций и исследования свойств композиционных материалов.



Протас Павел Александрович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Белорусский государственный технологический университет, магистр технических наук, аспирант кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ. Имеет 19 печатных работ в области воздействия лесозаготовительной техники на лесные почвы.

**ДЕФОРМАЦИЯ ГРУНТОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛЕСОСЕКИ, УКРЕПЛЕННЫХ ОТХОДАМИ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

Дано математическое описание процесса деформации грунтов на технологических элементах лесосеки, укрепленных отходами лесозаготовок, с учетом вязкоупругих свойств материалов покрытия. Представлены экспериментальные данные по воздействию лесозаготовительных машин на лесные почвогрунты.

*Ключевые слова:* технологические элементы лесосеки, двухслойная конструкция, отходы лесозаготовок, деформация, плотность, вязкоупругие константы.

При проведении лесозаготовительных работ важным фактором улучшения несущей способности грунтов, повышения проходимости лесотранспортных машин и снижения отрицательного экологического воздействия на лесные почвы является укрепление технологических элементов лесосеки отходами лесозаготовок [5]. В Белорусском государственном техноло-

гическом университете разработана математическая модель, позволяющая описывать процесс деформации почвогрунтов на технологических элементах лесосеки, которые можно рассматривать как вязкоупругое слоистое полупространство, нагруженное осесимметричной нагрузкой от колеса или гусеницы лесотранспортной (лесозаготовительной) машины [3, 4].

Цель статьи – вывод и анализ расчетных зависимостей.

Если рассматривать трелевочный волок как вязкоупругое двухслойное полупространство (где первый слой – грунт, второй – отходы лесозаготовок), вертикальное перемещение  $W$  будет определяться формулами:

на поверхности первого слоя, т. е. в грунтовом основании,

$$W_1 = -\frac{1 + \mu_1}{\dot{A}_1 h^2} \left( \int_0^\infty (A(t) + 2(1 - \mu_1) B(t)) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\rho\alpha) d\alpha + \int_0^t \int_0^\infty (A(t) + 2(1 - \mu_1) B(t)) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\rho\alpha) \delta_1 e^{-\beta_1 \tau} d\alpha d\tau \right); \quad (1)$$

на нижней границе второго слоя

$$W_2 = -\frac{1 + \mu_2}{\dot{A}_2 h^2} \left( \int_0^\infty (A(t) + 2(1 - \mu_2)(B(t) + 2D_2(t))) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\rho\alpha) d\alpha + \int_0^t \int_0^\infty (A(t) + 2(1 - \mu_2)(B(t) + 2D_2(t))) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\rho\alpha) \delta_2 e^{-\beta_2 \tau} d\alpha d\tau \right), \quad (2)$$

где  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $D_2(t)$  – коэффициенты, являющиеся функциями времени  $t$ , нагрузки  $q$ , параметров вязкоупругости слоев  $\delta$  и  $\beta$  и определяющиеся по формулам, полученным в работе [4].

При нагружении грунтового основания необходимо пользоваться общим модулем деформации  $E_0$ , а следовательно, и параметрами деформации  $\delta_0$  и  $\beta_0$ , определяющими ползучесть [6, 7]. Разгрузка характеризуется модулем упругости  $E$  и параметрами ползучести  $\delta$  и  $\beta$ . Так как грунтовое основание в расчетной схеме является первым слоем, его вязкоупругие параметры обозначим: при нагрузке –  $E_{1н}$ ,  $\delta_{1н}$ ,  $\beta_{1н}$ ; при разгрузке –  $E_{1р}$ ,  $\delta_{1р}$ ,  $\beta_{1р}$ .

Для второго слоя, состоящего из влажных сучьев и ветвей, вязкоупругие параметры при нагрузке и разгрузке также различны [7]: при нагрузке –  $E_{2н}$ ,  $\delta_{2н}$ ,  $\beta_{2н}$ ; при разгрузке –  $E_{2р}$ ,  $\delta_{2р}$ ,  $\beta_{2р}$ .

Учитывая, что при каждом наезде колеса или гусеницы грунт уплотняется, его вязкоупругие параметры являются функцией числа наездов, т. е. числа циклов действия нагрузки:

$$E_{1н} = E_{1н}(N), \delta_{1н} = \delta_{1н}(N), \beta_{1н} = \beta_{1н}(N); \\ E_{1р} = E_{1р}(N), \delta_{1р} = \delta_{1р}(N), \beta_{1р} = \beta_{1р}(N),$$

где  $N$  – номер цикла.

Зависимость вязкоупругих параметров грунта от числа циклов можно установить опытным путем.

Как видно из условий работы дорожной конструкции, при нагружении на границе слоев  $W_1 = W_2$ . опыты показывают, что разница между вязкоупругими параметрами при нагрузке и разгрузке для грунтового основа-



ния больше, чем для верхнего слоя из древесных веток, следовательно, при разгрузке древесные ветки будут висеть над колеей. При первом нагружении граница слоев переместится по вертикали на величину  $W_{1i}^{(1)}$ , определяемую формулой (1) с заменой  $E_1, \delta_1, \beta_1$  на  $\hat{A}_{1i}^{(1)}, \hat{\delta}_{1i}^{(1)}, \hat{\beta}_{1i}^{(1)}$ . При разгрузке верхняя граница грунтового основания переместится в обратном направлении на величину  $W_{10}^{(1)}$ , определяемую формулой (1) с заменой  $E_1, \delta_1, \beta_1$  на  $\hat{A}_{10}^{(1)}, \hat{\delta}_{10}^{(1)}, \hat{\beta}_{10}^{(1)}$ . Нижняя граница верхнего слоя, состоящего из порубочных остатков, переместится вверх на величину  $W_{20}^{(1)}$ , определяемую формулой (2) с заменой  $E_2, \delta_2, \beta_2$  на  $\hat{A}_{20}, \hat{\delta}_{20}, \hat{\beta}_{20}$ .

Таким образом, при первом цикле нагрузки – разгрузки верхняя граница грунта опустится на величину

$$W_1^{(1)} = W_{1i}^{(1)} - W_{10}^{(1)},$$

а нижняя граница слоя из веток – на

$$W_2^{(1)} = W_{1i}^{(1)} - W_{20}^{(1)}.$$

Следовательно, в колее образуется просвет между нижней границей верхнего слоя и верхней границей грунта, равный

$$W(1) = W_1^{(1)} - W_2^{(1)}.$$

Продолжительность действия нагрузки  $t_n$  на одну и ту же точку поверхности трелевочного волока

$$t_i = D/v,$$

где  $D$  – диаметр отпечатка колеса;

$v$  – скорость движения транспортного средства.

При разгрузке время  $t_p$  определяется продолжительностью между наездами колес. Очевидно, что  $t_p \gg t_n$ , но, поскольку при разгрузке деформация восстанавливается, она не может быть больше той, которая получилась при нагрузке. Разгрузку следует рассматривать как нагружение отрицательной нагрузкой  $q$  с тем же временем действия. Поэтому при использовании формул (1) и (2) следует принять  $t_n = t_p = t$ .

Если нагрузка передается не по кругу, а по прямоугольнику шириной  $b$  и длиной  $\ell$ , то перемещения, получаемые для круга, следует умножить на коэффициент  $K$ , зависящий от отношения  $\ell/b$  [1]:

$\ell/b$	$K$	$\ell/b$	$K$
1	1,12	4	2,10
2	1,53	5	2,53
3	1,78		

В этом случае время нагрузки и разгрузки  $t = \ell/v$ . При повторном нагружении, т. е. при проезде следующего колеса, часть давления уйдет на ликвидацию зазора  $W(1)$  между нижней границей верхнего слоя и грунтом. Учитывая то, что ветки в основном располагаются перпен-

дикулярно к оси дороги, и пренебрегая трением между ними, для определения нагрузки  $q_1$ , идущей на ликвидацию зазора  $W(1)$ , выделим из верхнего слоя перпендикулярную к оси дороги полосу шириной  $B = 1$  и длиной  $\ell_1$ , равной ширине прямоугольной нагрузки  $b$  или диаметру отпечатка колеса  $D$ . Получим балку, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой, которая опирается на края колеи.

При такой схеме нагружения  $W(1) = 5q_1\ell_1^4 / (384E_2J_x)$ , откуда

$$q_1 = 384E_2J_xW(1) / (5\ell_1^4).$$

Учитывая, что  $J_x = h^3/12$ , окончательно можно записать

$$q_1 = 6,4E_2h^3W(1) / \ell_1^4.$$

Таким образом, при втором цикле нагрузки – разгрузки определение вертикальных перемещений ведется от нагрузки

$$q(2) = q - q_1.$$

При  $N$ -м цикле нагрузки – разгрузки расчет ведется от интенсивности нагрузки

$$q(N) = q - q_{N-1},$$

где  $q_{N-1} = 6,4E_2h^3W(N-1) / \ell_1^4$ ;  $W(N-1) = \sum_{i=1}^{N-1} (W_1^{(i)} - W_2^{(i)})$ .

При  $N$ -м нагружении перемещение  $W_{1f}^{(N)}$  определяется по формуле (1) с заменой  $E_1, \delta_1, \beta_1$  на  $\hat{A}_{1f}^{(N)}, \hat{\delta}_{1f}^{(N)}, \hat{\beta}_{1f}^{(N)}$ . При  $N$ -й разгрузке перемещение  $W_{1\delta}^{(N)}$  определяется по формуле (1) с заменой  $E_1, \delta_1, \beta_1$  на  $\hat{A}_{1\delta}^{(N)}, \hat{\delta}_{1\delta}^{(N)}, \hat{\beta}_{1\delta}^{(N)}$ , а перемещение  $W_{2\delta}^{(N)}$  по формуле (2) с заменой  $E_2, \delta_2, \beta_2$  на  $E_{p2}, \delta_{p2}, \beta_{p2}$ . При этом коэффициенты  $A(t), B(t), D_2(t)$  определяются с заменой интенсивности нагрузки  $q$  на  $q(N)$ .

После  $N$  циклов нагрузки – разгрузки глубина колеи в грунте равна

$$W_1^{(N)} = \sum_{i=1}^N (W_{1f}^{(i)} - W_{1\delta}^{(i)}).$$

Задаваясь ограничением глубины колеи в грунте, можно определить допустимое число циклов  $N$  нагрузки – разгрузки, что является теоретическим обоснованием для расчета допустимого числа проходов машины по волоку (технологическому коридору).

Следует отметить, что вязкоупругие параметры верхнего слоя удобно определять через вязкоупругие параметры древесины веток. Если средний диаметр веток  $d$ , а толщина верхнего слоя  $h$ , то по высоте слоя расположено  $n = h/d$  веток, а по ширине выделенного слоя –  $m = B/d$  веток (рис. 1).

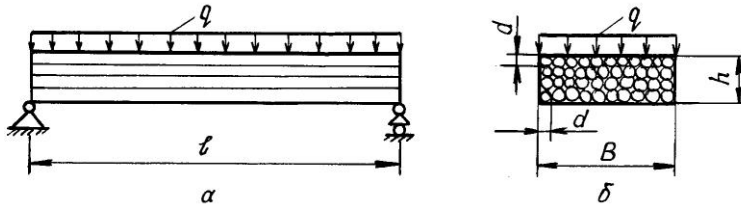


Рис. 1. Схема участка дороги в пределах диаметра колеса  $\ell$ :  
 $a$  – длина участка;  $b$  – поперечное сечение;  $q$  – интенсивность внешней нагрузки;  $B$  – ширина;  $h$  – высота;  $d$  – диаметр веток

Пренебрегая трением между ветками, можно считать, что каждая из них работает на изгиб независимо от других. Нагрузка, приходящаяся на одну ветку,  $q_0 = q/(mn)$ . При изгибе одной ветки как балки на двух опорах, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивности  $q_0$ , прогиб посередине будет равен

$$W_0 = 5q_0\ell_1 / (384E_a J_0),$$

где  $E_d$  – модуль упругости древесины ветки;

$J_0$  – осевой момент инерции ветки,  $J_0 = \pi d^4 / 64$ .

Подставляя в формулу для прогиба  $q_0$  и  $J_0$ , выраженные через  $q$  и  $d$ , получаем

$$W_0 = \frac{320q\ell_1^4}{384\pi mnd^4 E_a}.$$

Если учесть, что  $n = h/d$ , а  $m = B/d$ , будем иметь

$$W_0 = \frac{320q\ell_1^4}{384\pi Bhd^2 E_a}. \quad (3)$$

Для верхнего слоя шириной  $B$  и высотой  $h$  прогиб посередине балки

$$W = \frac{5q\ell_1^4}{384E_2 J} = \frac{60q\ell_1^4}{384Bh^3 E_2}. \quad (4)$$

Приравняв прогибы согласно (3) и (4), получаем

$$E_2 = 0,59 \frac{d^2}{h^2} E_a.$$

Так находим модуль упругости верхнего слоя  $E_2$  через модуль упругости древесины ветки  $E_d$ .

Аналогично определим остальные вязкоупругие константы для верхнего слоя через константы древесины веток:

$$\delta_2 = 0,59 \frac{d^2}{h^2} \delta_a; \quad \beta_2 = 0,59 \frac{d^2}{h^2} \beta_a.$$

Как показывают экспериментальные данные (рис. 2 и 3), при проведении лесозаготовок современными энергонасыщенными машинами значительно повреждаются почвогрунты и изменяются их физико-механические

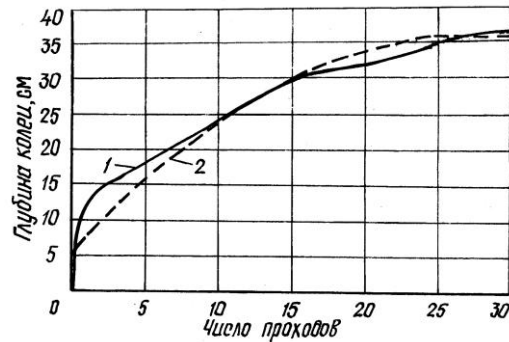


Рис. 2. Зависимость глубины колеи от числа проходов колесной трелевочной машины МЛ-126: 1 – по точкам; 2 – аппроксимация

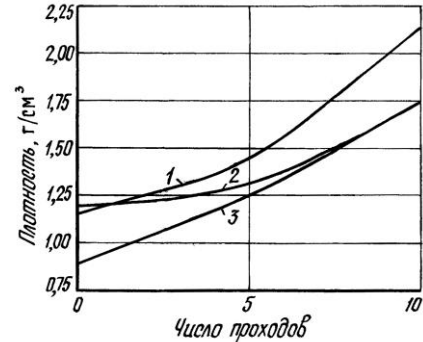


Рис. 3. Зависимость плотности почвы от числа проходов трелевочной машины МЛ-126 в трехпараллельных измерениях (1, 2, 3)

свойства, что, в свою очередь, влияет на возобновление и продуктивность лесонасаждений.

По данным исследований [2], пороговое значение плотности почвы для возобновления ели составляет 1,65...1,70, березы – 1,80 г/см<sup>3</sup>. Однако, как видно из графика на рис. 3, уже после 10 проходов трелевочной машины по волоку почва уплотняется до порогового значения, а глубина колеи достигает 25 см (рис. 2).

Таким образом, на технологических элементах лесосеки, укрепленных порубочными остатками, образование колеи после 15 ... 20 проходов уменьшается в 1,5–2,0 раза, а при 3 ... 5 проходах колея практически не образуется. Интенсивность уплотнения дерново-подзолистых почв снижается на 40...60 %. Кроме того, значительно уменьшаются повреждаемость корней растущих деревьев при выборочных рубках, выбросы отработанных газов двигателей (ввиду меньшего расхода топлива); при перегнивании порубочных остатков разуплотняется почва на волоке, повышается ее плодородие, ускоряются биологические процессы функционирования корневых систем деревьев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. – М.: Высш. шк., 1986.
2. Котиков В.М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук / В.М. Котиков. – М., 1995. – 37 с.
3. Федоренчик А.С. Деформация лесных почв под воздействием колесных и гусеничных движителей / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, Н.П. Вырко // Лесн. журн. – 2000. – № 3. – С. 80–86. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Федоренчик А.С. Аналитическое исследование колееобразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок / А.С. Федоренчик, С.С.

Макаревич, П.А. Протас // Лесн. журн. – 2002. – № 1. – С. 80–89. – (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Федоренчик А.С. Применение отходов лесозаготовок при обустройстве трелевочных волоков / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: материалы МНТК. – Мн.: БГТУ, 2001. – С. 244–246.

6. Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высш. шк., 1973.

7. Шукле Л. Реологические проблемы механики грунтов / Л. Шукле. – М.: Стройиздат, 1976.

Белорусский государственный  
технологический университет

Поступила 15.12.02

*A.S. Fedorenchik, S.S. Makarevich, P.A. Protas*

### **Soil Deformation on Technological Elements of Logging Sites Consolidated by Logging Wastes**

Mathematical description of soil deformation process on technological elements of the logging site consolidated by logging wastes is given taking into account viscoelastic characteristics of the cover material. Experimental data on the influence of logging machines on the forest soils are provided.

---

УДК 630\*372

***И.В. Григорьев, А.И. Жукова***

Григорьев Игорь Владиславович окончил в 1996 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент, зам. заведующего кафедрой технологии лесозаготовительных производств СПбЛТА. Имеет около 30 печатных трудов в области отраслевой технологии.



Жукова Антонина Ивановна окончила в 1998 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбЛТА. Имеет 5 печатных трудов по отраслевой технологии.



**КООРДИНАТНО-ОБЪЕМНАЯ МАТОДИКА ТРАССИРОВАНИЯ  
ПРИ ОСВОЕНИИ ЛЕСОСЕК ТРЕЛЕВКОЙ\***

Разработана методика прокладки трасс трелевки, позволяющая оптимизировать работу первичного транспорта леса с учетом конкретных природно-производственных условий.

*Ключевые слова:* трелевка, лесосека, волок, проходы, методика трассирования.

Известно, что почти на всякой лесосеке имеются участки (выдела) с различным запасом леса на гектаре, труднопроходимые для трелевочных машин по почвенно-грунтовым и рельефным условиям, а также биотопы, которые приходится объезжать. К выделам с большим запасом леса надо делать большее число рейсов. На участках со слабонесущими грунтами требуется ограничивать вес пачки или дополнительно укреплять волок, на участках с подъемами и спусками в грузовом направлении – ограничивать вес пачки по касательной силе тяги трактора.

Мощность  $N$  трактора, необходимая для трелевки пачки по волоку, зависит от касательной силы тяги  $F_k$  и скорости ее движения  $V$ :

---

\* Работа выполнена по совместному гранту Министерства образования РФ и администрации С.-Петербурга на тему «Обоснование способа трелевки и параметров трелевочных систем на базе различных типов трелевочных тракторов для наиболее распространенных природно-производственных условий Российской Федерации».

$$N = \frac{F_{\dot{\epsilon}} V}{\eta}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – КПД передачи от двигателя к движителю.

Мощность установленного на трелевочной машине двигателя известна, и машина должна работать в режимах, при которых  $N$  близко или равно  $N_{\text{ном}}$ .

Следовательно, для любого участка лесосеки имеем

$$F_k V = N \eta. \quad (2)$$

Если собственный вес трактора с полупогруженной пачкой хлыстов  $G_T$ , вес пачки  $G_B$ ,  $k'$  – доля  $G_B$  от  $G_T$  и трактор движется на подъем (спуск) с некоторым углом  $\alpha$ , то касательную силу тяги можно определить приближенно из выражения

$$F_k = G_T(\varphi_T \cos \alpha \pm \sin \alpha) + k' G_B(\varphi_T \cos \alpha \pm \sin \alpha) + (1 - k') G_B(\varphi_B \cos \alpha \pm \sin \alpha), \quad (3)$$

где  $\varphi_T$ ,  $\varphi_B$  – коэффициенты сопротивления движению соответственно трактора и волочащейся части пачки.

В этой формуле не учитывается смещение центра тяжести трактора с долей пачки относительно центра тяжести самого трактора, что приводит к перераспределению давлений движителя на грунт.

На протяжении волока  $\varphi_T$ ,  $\varphi_B$  и  $\alpha$  могут отличаться весьма существенно. В ряде случаев  $\varphi_B \gg \varphi_T$ , и тогда трактор буксует, что приводит к сильным повреждениям почвы.

Значения  $\varphi_T$  и  $\varphi_B$  в уравнении (3) лишь частично отражают почвенно-грунтовые условия, а угол  $\alpha$  – рельеф на отдельных участках. Значения  $\varphi_T$  во многом зависят от давления движителя на грунт, состояния поверхности почвы и других факторов,  $\varphi_B$  – от состава древостоя, развитости кроны (при трелевке деревьев), направления комлей и других факторов.

При холостом ходе трактора в уравнении (3)  $G_B = 0$  и  $F_{k,x} = G_T(\varphi_T \cos \alpha \pm \sin \alpha)$ , следовательно, скорости движения при грузовом и холостом ходах можно получить из выражения (2):

$$V_{\dot{\alpha},\dot{\delta}} = \frac{N \eta}{F_{\dot{\epsilon}}}; \quad V_{\dot{\delta},x} = \frac{N \eta}{F_{\dot{\epsilon},x}}. \quad (4)$$

Но поскольку  $F_{k,x} < F_k$ , то  $V_{x,x} > V_{T,x}$  и при известной протяженности отдельных участков нетрудно рассчитать время их прохождения в грузовом и холостом направлениях.

Из выражений (3) и (4) можно сделать вывод, что, поддерживая мощность, близкую к номинальной, можно увеличивать скорости движения или вес пачки, снижая вес трактора и коэффициенты сопротивления движению.

Вес трелеваемой пачки можно найти по формуле

$$G_B = \frac{N \eta - G_{\dot{\delta}} V_{\dot{\alpha},\dot{\delta}} (\varphi_{\dot{\delta}} \cos \alpha \pm \sin \alpha)}{V_{\dot{\alpha},\dot{\delta}} [k' (\varphi_{\dot{\delta}} \cos \alpha \pm \sin \alpha) + (1 - k') (\varphi_T \cos \alpha \pm \sin \alpha)]}. \quad (5)$$

Вес трактора зависит от его конструктивных особенностей,  $\varphi_T$  – от состояния трассы.

Если для всех участков рассчитывать вес пачки и скорости движений, то можно определить время цикла трелевки пачки.

Особый вопрос состоит в определении долговечности отдельных участков, числа двойных проходов трелевочной машины и трелевочной системы на том или ином участке для предотвращения перехода слабых (полезных) повреждений почвы в сильные.

Очевидно, что чем ближе участок к погрузочному пункту, тем больше двойных проходов на него приходится.

Проведенные нами теоретические исследования показывают, что для снижения затрат на освоение лесосеки, а также степени повреждения почвы необходимо знать подробную ее характеристику. До начала разработки лесосеки надо иметь по крайней мере три ее карты-характеристики: на одной должны быть изображены все выдела, т. е. отдельные части лесосеки с определенным составом древостоя, средним объемом хлыста и запасом леса на гектаре; на другой – площади с примерно одинаковой несущей способностью грунтов, в том числе не проходимые для машины; на третьей – все особенности рельефа (подъемы, спуски и их параметры, ручьи, канавы и т. п.).

Если масштабы всех карт одинаковы, то, наложив одну на другую, получим достаточно подробную характеристику каждой точки лесосеки. Выбрав произвольную систему координат, например ось абсцисс параллельно фронту отгрузки (усу или как-то иначе), можно однозначно привязать каждую точку на местности и знать ее подробную характеристику.

Выдел с некоторым запасом  $q_i$  леса на гектаре может иметь произвольную форму площади  $S_i$ . Но какой бы ни была форма выдела, на ней всегда можно найти центр запаса леса (ЦЗЛ), по аналогии с центром тяжести плоской фигуры одинаковой плотности. По первой карте можно определить координаты ЦЗЛ  $(x_i, y_i)$ . Если площадь выдела слишком велика или форма площади очень сложна, ее следует произвольно разбить на части и определить ЦЗЛ каждой части и координаты на карте. Тогда координаты ЦЗЛ всего выдела можно вычислить по формулам

$$x_i = \frac{q_i(S_1x_1 + S_2x_2 + \dots + S_nx_n)}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}; \quad y_i = \frac{q_i(S_1y_1 + S_2y_2 + \dots + S_ny_n)}{y_1 + y_2 + \dots + y_n}, \quad (6)$$

где  $n$  – число частей разбитой площади выдела;

$S_n, x_n, y_n$  – площади и координаты  $i$ -го выдела.

В общем виде для нескольких выделов можно записать:

$$x_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^z q_i S_i x_i}{\sum_{i=1}^z x_i}; \quad y_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^z q_i S_i y_i}{\sum_{i=1}^z y_i}. \quad (7)$$

Если по тем или иным причинам невозможно или крайне нецелесообразно провести волок по ЦЗЛ двух выделов, а приходится прокладывать



его между двумя соседними, то координаты точки условно сдвоенного выдела, состоящего из двух участков, разных по площади и запасу леса, можно вычислить как

$$x_c = \frac{q_1 S_1 x_1 + q_2 S_2 x_2}{q_1 S_1 + q_2 S_2}; \quad y_c = \frac{q_1 S_1 y_1 + q_2 S_2 y_2}{q_1 S_1 + q_2 S_2}. \quad (8)$$

Трасса волоков от данного ЦЗЛ до условно сдвоенного ЦЗЛ двух выделов оказывается сопряженной, однако спрямление волоков может оказаться невозможным по рельефу и почвенно-грунтовым условиям.

Таким образом, объемно-координатный способ в сочетании с рельефными и почвенно-грунтовыми ограничениями позволит вполне обоснованно составлять схемы расположения волоков на лесосеке и тем самым свести к минимуму энергетические и материальные затраты на трелевку хлыстов и деревьев, а также ухудшение лесорастительных условий.

Такую методику можно, по нашему мнению, применить и при строительстве лесовозных усов. Только вместо термина «выдел» следует принять термин «лесосека». Разумеется, масштабы карт и расположение координатных осей могут быть иными, в частности, совпадать с географической системой координат.

Износ волока сильно влияет на коэффициенты  $\varphi_t$  и  $\varphi_n$  сопротивления движению трактора и волочащейся части пачки хлыстов или деревьев, хотя эта зависимость не всегда явно просматривается. Дело в том, что формирование колеи зависит от почвенно-грунтовых условий. В одних случаях с увеличением числа двойных проходов трактора в некоторых местах грунт под гусеницами или колесами продавливается, уплотняется и  $\varphi_t$  уменьшается. Затем разрушается уплотненный слой, увеличиваются глубина колеи и  $\varphi_t$ . В других случаях грунт под гусеницами или колесами уплотняется очень слабо и почти сразу начинает разрушаться, глубина колеи постоянно увеличивается и  $\varphi_t$  довольно быстро достигает предельных значений.

Чтобы оценить степень уширения волока на отдельных его участках, надо знать требуемую наработку на каждом из них, т.е. определить, сколько двойных ходов трактора он должен выдерживать. Пусть волок пересекает  $n$  примыкающих к нему выделов, имеющих площади  $S_i$  и запасы леса на гектаре  $q_i$ . Общий объем древесины  $V_b$ , который необходимо стреловать по этой трассе к погрузочному пункту, и общее число двойных ходов  $Z_{\max}$  трактора можно вычислить, если определен объем  $V_n$  трелеваемой пачки с учетом рельефно-почвенных ограничений:

$$V_b = \sum_{i=1}^n S_i q_i; \quad Z_{\max} = \frac{V_b}{V_i}. \quad (9)$$

Протяженность  $l_1$  этой части волока можно принять равной расстоянию от погрузочного пункта до ЦЗЛ ближайшего выдела, которая вычисляется по координатам ЦЗЛ и погрузочного пункта как расстояние между двумя точками по формуле

$$l_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (10)$$

или по карте с определенным масштабом с помощью линейки.

Объем хлыстов, трелюемых на втором участке волока от ЦЗЛ первого выдела до ЦЗЛ следующего выдела, оказывается меньше на величину объема хлыстов, вывезенных (стрелеванных) с первого выдела:

$$V_{в1} = V_{в} - S_1 q_1, \quad (11)$$

а число двойных ходов

$$Z_{\max-1} = \frac{V_{\hat{a}} - S_1 q_1}{V_i}. \quad (12)$$

Протяженность второго участка волока можно определить аналогично.

Очевидно, что по наиболее удаленному участку волока необходимо стреловать объем хлыстов

$$V_{вn} = S_n q_n \quad (13)$$

и совершить число двойных рейсов трактора

$$Z_{\min} = \frac{S_n q_n}{V_i}. \quad (14)$$

Планируемая наработка на тот или иной участок трассы в сочетании со знанием несущей способности грунтов и рельефом каждого участка позволит снизить энергозатраты на трелевку древесины и повреждения почвы. Однако необходимо учитывать, что всякие перегрузки трактора сверх допустимых для уменьшения числа ходов приводят к поломке или значительно сокращают его долговечность.

Таким образом, подробная характеристика почвенно-грунтовых и рельефных условий лесосеки в сочетании с координатно-объемной методикой трассирования позволяет получить такую схему расположения трасс трелевки, при которой суммарные затраты на трелевку могут быть сведены к минимальным, а повреждения почвы – к требуемым и позволяющим оптимизировать лесорастительные условия для последующего естественного лесовозобновления.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 12.03.03

*I.V. Grigorjev, A.I. Zhukova*

### **Coordinate-volumetric Technique of Routing when Developing Cutting Areas by Skidding**

The technique of routing by skidding has been developed allowing to optimize the work of primary wood transport taking into account specific nature-and-production conditions.

УДК 630\*848.7: 621.798.4

### ***П. Ф. Войтко***

Войтко Петр Филиппович родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры транспорта леса Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл. Имеет 85 печатных работ в области водного транспорта леса и лесоперевалочных процессов.



## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПАЧКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ**

Составлена математическая модель процесса формирования лесных грузов передвижными торцевывравнителями перед погрузкой в транспортные средства на предприятиях с рейдами приплава.

*Ключевые слова:* математическая модель, формирование лесных грузов, пучки и пачки из круглых лесоматериалов, передвижные торцевывравнители.

Применение торцевывравнителей на лесопромышленных предприятиях с рейдами приплава обусловлено несовершенством технологического оборудования, используемого на лесоскладских работах, а также условиями транспортировки круглых лесоматериалов по водным путям и перевозки их в смешанном сообщении. Проблеме торцевания лесных грузов из круглых лесоматериалов посвящены исследования ряда авторов [1, 2, 4–13 и др.].

Цель нашей работы – вывод математической модели формирования лесных грузов из круглых лесоматериалов с помощью передвижных торцевывравнителей. Объектом исследований служат разработанные институтом ВКНИИВОЛТ при участии МарГТУ передвижные торцевывравнители ТПК-10, ЛВ-169 к башенным и порталным кранам для формирования лесных грузов перед погрузкой в транспортные средства (автомобили, суда, вагоны). Предметом исследований является определение параметров передвижных торцевывравнителей к башенным кранам КБ-572.

При выравнивании торцов лесных грузов (бревна и пакеты) на них действуют силы трения перемещению круглых лесоматериалов относительно друг друга и обвязки, а также со щитами торцевывравнивающих устройств. Силы трения, преодолеваемые при выравнивании торцов, зависят от многих факторов, в том числе от натяжения в обвязке лесотранспортной грузовой единицы. Усилие торцевания  $F$ , которое необходимо приложить к рабочему органу торцевывравнителя, является основным.

Для исследования процесса формирования лесных грузов передвижными торцевывравнивателями применяли метод сыпучей среды с учетом сил трения [4]. Примем следующие допущения и ограничения. Лесной груз в торцевывравнивателе (рис. 1) представляет собой сыпучую

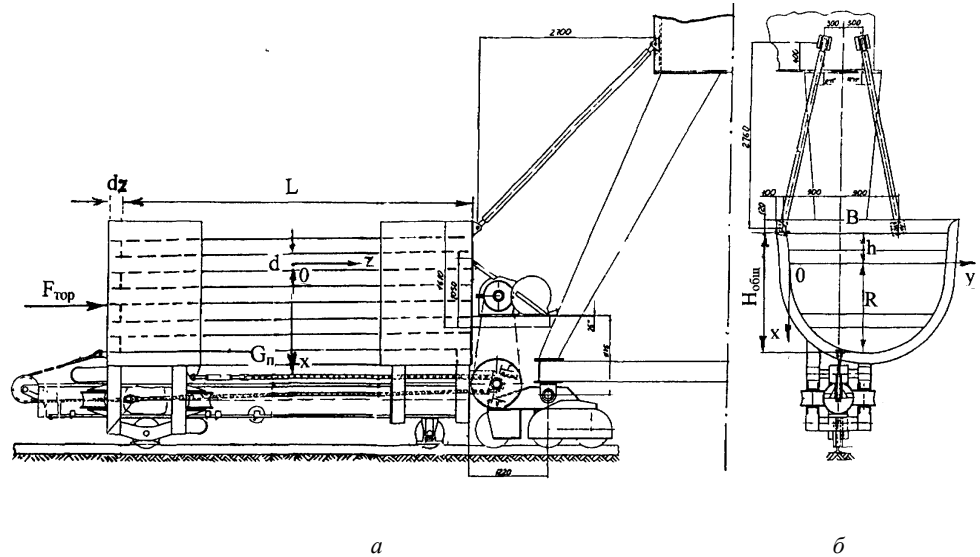


Рис. 1. Расчетная схема формирования круглых лесоматериалов передвижным торцевывравнивателем ТПК-10: а – вид сбоку; б – вид в поперечном сечении

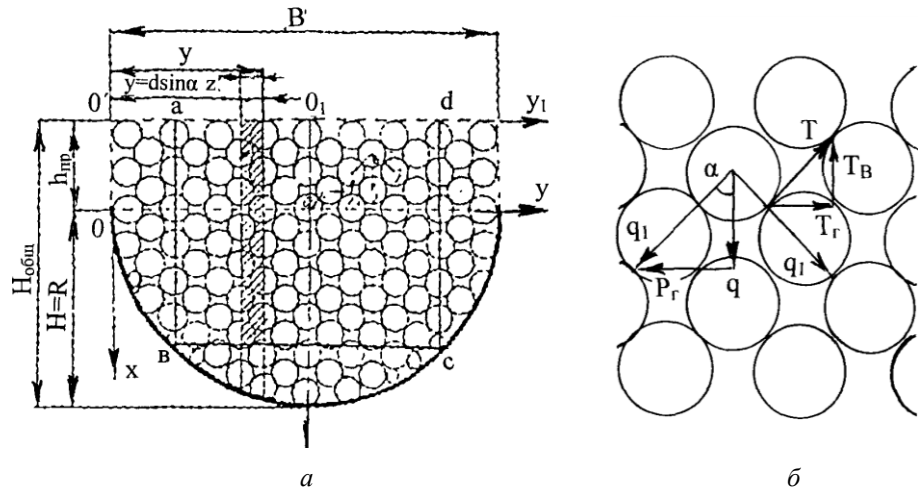


Рис. 2. Расчетная схема: а – расположение круглых лесоматериалов в люлке формирующего устройства; б – расположение бревен при их продольном перемещении

среду, состоящую из обвязанных гибкими связями круглых лесоматериалов одинакового диаметра  $d$ , веса  $q$ , сбежистости и шероховатости боковой по-

верхности. Массы связей (обвязок) очень малы по сравнению с массой груза, поэтому их не учитывают. Поперечное сечение формирующего устройства торцевывравнителя имеет форму плоских симметричных фигур (полукруг, прямоугольник, равнобедренный треугольник, трапеция) или сложных фигур (полукруг+прямоугольник). Схема расположения круглых лесоматериалов в формирующем устройстве (рис. 2, а) предполагает, что каждое бревно касается четырех соседних (рис. 2, б).

Обозначим коэффициенты трения между бревнами  $f_b$ , между ними и обвязкой  $f_{б.о}$ , между бревнами и опорными стойками формирующего устройства  $f_{б.с}$ . Влияние проволочных обвязок на лесной груз учитывают приведенной равномерно распределенной нагрузкой из слоев бревен высотой  $h_{пр}$ . Для составления математической модели использовали методы математического анализа и уравнений статики.

Определим нормальные силы, действующие на пучок круглых лесоматериалов, помещенных в передвижной торцевывравнитель ТПК-10 сложной формы формирующего устройства. При выравнивании торцов вертикальными щитами влияние усилий от обвязок можно найти двумя способами:

$$T = P_0 r \quad (1)$$

или

$$T = G_n K, \quad (2)$$

где  $P_0$  – интенсивность нагрузки на обвязки, Н/м;

$r$  – радиус кривизны контура обвязки, м;

$G_n$  – вес пучка бревен, Н;

$K$  – коэффициент пропорциональности.

Заменим давление от обвязок приведенной равномерно распределенной нагрузкой из дополнительных слоев бревен высотой  $h_{пр}$  и весом

$$G_{пр} = h_{пр} \gamma_d \rho LB, \quad (3)$$

где  $\gamma_d$  – плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – коэффициент полндревесности пучка бревен;

$L$  – длина круглых лесоматериалов, м;

$B$  – ширина торцевывравнителя, м.

Интенсивность равномерно распределенной нагрузки  $P_{0_1}$  на участке шириной  $B$  выразим как

$$P_{0_1} = G_{пр} / B. \quad (4)$$

Подставив выражение (3) в (4), получим

$$P_{0_1} = h_{пр} L \gamma_d \rho. \quad (5)$$

Приравняв выражения (1) и (5), получим выражение для определения  $h_{пр}$ :

$$h_{пр} = T / (r L \gamma_d \rho). \quad (6)$$

Подставив  $T$  из (2) в (6) и выразив вес пучка через ее геометрические размеры  $G_n = L S_n \gamma_d$ , найдем

$$h_{\text{пр}} = KG_{\text{пр}}/(rL\gamma_{\text{др}}) = KS_{\text{пр}}/r, \quad (7)$$

где  $S_{\text{пр}}$  – площадь поперечного сечения.

Зная приведенную высоту  $h_{\text{пр}}$  от усилий в обвязках (7), найдем количество дополнительных рядов бревен:

$$n_{\text{пр}} = h_{\text{пр}}/(d \cos \alpha), \quad (8)$$

где  $\alpha$  – угол взаимного расположения бревен в пучке, рад.

Подставив значение  $h_{\text{пр}}$  из (7) в (8), получим

$$n_{\text{пр}} = KS_{\text{пр}}/(rd \cos \alpha). \quad (9)$$

Итак, от усилий в обвязках на сортиментный пучок дополнительно действует приведенный слой среды, содержащий  $n_{\text{пр}}$  бревен.

Нормальные силы, действующие на единичное бревно, определим по формуле

$$N_1 = N_i + N_{\hat{a}} + 2N_{\hat{a}\hat{e}}. \quad (10)$$

Поскольку на бревно, кроме вышележащих  $n$  слоев, действует и приведенный слой сортиментов  $n_{\text{пр}}$ , то нормальные усилия, приложенные к бревну снизу ( $N_{\text{н}}$ ) и сверху ( $N_{\text{в}}$ ), равны:

$$N_{\text{н}} = q(n + n_{\text{пр}}); \quad (11)$$

$$N_{\text{в}} = q(n + n_{\text{пр}} - 1). \quad (12)$$

Распорное усилие  $N_{\text{бок}}$  определим с учетом сил трения и взаимного расположения бревен между собой [12]:

$$N_{\text{бок}} = q(\text{tg } \alpha - \mu)(n + n_{\text{пр}} - 1)/2, \quad (13)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения бревен поперек волокон.

Подставив значения составляющих нормальных сил (11), (12) и (13) в выражение (10), получим нормальную силу, действующую на бревно:

$$N_1 = q\{(n + n_{\text{пр}}) + [(n + n_{\text{пр}}) - 1][1 + (\text{tg } \alpha - \mu)]\}. \quad (14)$$

Заменив последний множитель второго слагаемого  $[1 + (\text{tg } \alpha - \mu)]$  на  $\psi$ , найдем

$$N_1 = q\{(n + n_{\text{пр}}) + [(n + n_{\text{пр}}) - 1]\psi\}. \quad (15)$$

Нормальное усилие, действующее на первое бревно в приведенном слое,

$$N_{1\text{пр}} = q. \quad (16)$$

То же в пучке

$$N_{1(1\text{п})} = q\{(1 + n_{\text{пр}}) + [(n + n_{\text{пр}}) - 1]\psi\} = q[(1 + n_{\text{пр}}) + n_{\text{пр}}\psi]. \quad (17)$$

Усилие продольного перемещения любого бревна, находящегося в любом сечении пучка, найдем по формуле

$$F_1 = f_c q\{(1 + n_{\text{пр}}) + [(n + n_{\text{пр}}) - 1]\psi\}. \quad (18)$$

Усилие, необходимое для перемещения бревен, находящихся в любом горизонтальном ряду пучка, определим по выражению

$$F_{ir} = f_c m q (n + n_{np}) n_k \{1 + [1 + 1 / (n + n_{np})] \psi\}, \quad (19)$$

где  $m$  – коэффициент отношения выступающих бревен к общему их числу.

В формуле (19) выражение  $(n + n_{np}) n_k$  есть количество круглых лесоматериалов, находящихся в контуре, ограниченном сечением  $abcd$  (рис.2, а), которое может быть найдено через площадь поперечного сечения контура  $S$ :

$$i = 4\rho S / (\pi d^2). \quad (20)$$

Вес одного бревна найдем по формуле

$$q = \pi d^2 L \gamma_d / 4. \quad (21)$$

Количество сортиментов в вертикальном ряду можно выразить через угол взаимного расположения бревен  $\alpha$  и высоту столба среды  $x_{общ} = H + h_{np}$ :

$$n_{общ} = n + n_{np} = x_{общ} / (d \cos \alpha). \quad (22)$$

Подставив выражения (20)–(22) в (19), найдем усилие перемещения любого горизонтального слоя пучка:

$$F_{ir} = f_c m \gamma_d \rho L S [1 + (1 - d \cos \alpha / x_{общ}) \psi]. \quad (23)$$

Для определения общего усилия торцевания пучка необходимо просуммировать значения сил перемещения всех горизонтальных рядов бревен или проинтегрировать выражение (23). Из формы поперечного сечения пучка видно, что с изменением высоты столба среды пучка изменяется и площадь контура, которая зависит от количества бревен в вертикальном ряду:

$$S = f (n + n_{np}).$$

Общее усилие, необходимое для выравнивания круглых лесоматериалов пучка, определим по формуле

$$F_{\text{и\u0430\u0443. \u0430}} = \frac{f_c m \gamma_d \rho L}{d \cos \alpha} \int_{h_{\text{нп}}}^{H+h_{\text{нп}}-d} \left[ S(x) + \psi S(x) - \psi S(x) \frac{d \cos \alpha}{x_{\text{и\u0430\u0443}}} \right] dx, \quad (24)$$

где  $f_c$  – коэффициент сопротивления бревен при их относительном перемещении вдоль волокон;

$S(x)$  – площадь контура формировочного устройства торцевывающего устройства,  $\text{м}^2$ .

Для пачки круглых лесоматериалов при  $h_{np} = 0$  и отсутствии обвязок выражение (24) принимает вид

$$F_{\text{общ. г}} = f_c m \gamma_d \rho L / (d \cos \alpha) \int_0^{H-d} [S(x) + \psi S(x) - \psi S(x) d \cos \alpha / x_{\text{общ}}] dx. \quad (25)$$

Чтобы определить общее усилие торцевания пачки круглых лесоматериалов по формуле (25), необходимо предварительно найти закономерность изменения площади контура  $S(x)$  формировочного устройства торце-

выравнивателя и проинтегрировать выражение (25) от нуля до  $H$ :

$$F_{\text{общ.г.р}} = f_c m G_n 4R / (3\pi d \cos \alpha) \{ (1 + \psi) \times \\ \times [1 - \sqrt{1 - (1 + h/R)^2 (1 - h/(R - h))^2}]^3 - 3\psi \pi d \cos \alpha / 4 \}. \quad (26)$$

Модернизированный передвижной торцевывравниватель ЛВ-169 отличается от ТПК-10 трапецидальной формой поперечного сечения люльки [3]. Определим усилие торцевания пачки круглых лесоматериалов, размещенной в этом формирующем устройстве. Рассмотрим его площадь в системе координат  $x_0 O_1 y$  (рис. 3), которая ограничена прямыми  $AB$ ,  $BC$  и  $CO_1$ ,  $O_1 A$  на осях координат. Площадь формирующего устройства может быть описана уравнением

$$y = b + b_1 - b_1 x / H, \quad (27)$$

при  $x = 0$   $y = b + b_1$ ; при  $x = H$   $y = b$ .

Так как форма трапеции имеет ось симметрии  $O_1 x_0$ , то, определив площадь  $O_1 ABC$  и удвоив результат, получим площадь люльки формирующего устройства. Проинтегрируем выражение (27):

$$S_{\text{трап}} = 2 \int_0^H (b + b_1 - \frac{b_1 x}{H}) dx.$$

После преобразований получим

$$S_{\text{трап}} = H(2b + b_1). \quad (28)$$

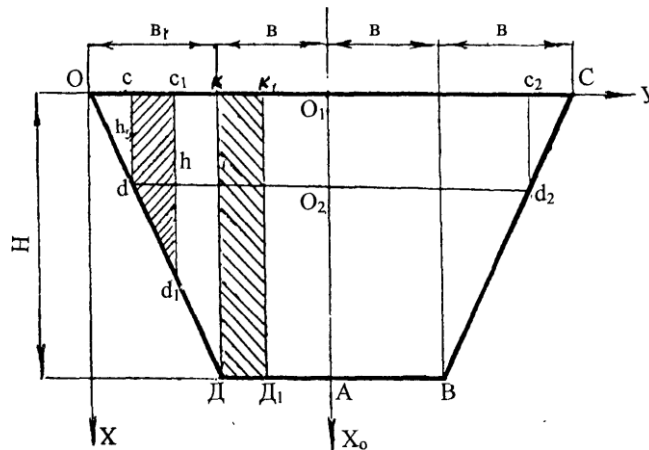


Рис. 3. Формирующее устройство торцевывравнивателя, имеющего трапецидальную форму поперечного сечения:  $H$  – высота устройства;  $b$  – нижнее полуоснование;  $b_1 + b$  – верхнее полуоснование;  $h$  – большое основание трапеции;  $h_0$  – малое основание трапеции

Для площади прямоугольного контура  $O_1 cd O_2$ , вписанного в формирующее устройство, получим



$$S_{O_1cdO_2} = x(b + b_1 - b_1x/H), \quad (29)$$

при  $x = 0$   $S_{O_1cdO_2} = 0$ ; при  $x = H$   $S_{O_1cdO_2} = Hb$ .

Искомая площадь прямоугольного контура, вписанного в формирующее устройство торцевывравнивателя, равна:

$$S_{cdd_2c_2} = 2x(b + b_1 - b_1x/H). \quad (30)$$

Выражения (30) подставим в формулы (23) и (25), по которым можно определить усилие торцевания для любого горизонтального ряда бревен и для общего усилия торцевания сортиментной пачки по зависимости перемещения бревен горизонтальными рядами:

$$F_i = f_c m \gamma_d \rho L [2xb + 2xb_1 - 2b_1x^2/H] [1 + \psi - \psi d \cos \alpha/x]; \quad (31)$$

$$F_{\text{общ}} = f_c m \gamma_d \rho L / (d \cos \alpha) \int_0^{H-d} [2xb + 2xb_1 - 2b_1x^2/H] [1 + \psi - \psi d \cos \alpha/x] dx. \quad (32)$$

Исследуем выражение (31) с помощью производной. Обозначим  $f_c m \gamma_d \rho L = \xi$ . Сделав преобразование и взяв первую производную, получим

$$F_i' = \xi [2b + 2b_1 - 4b_1x/H + \psi(2b + 2b_1 - 4b_1x/H) + 2b_1\psi d \cos \alpha/H] = 0. \quad (33)$$

Если  $\xi = 0$ , тогда выражение в квадратных скобках равно 0. Произведем перегруппировку:

$$2b + 2b_1 + \psi(2b + 2b_1) - 4xb_1/[H(1 + \psi)] + 2b\psi d \cos \alpha/H = 0.$$

После преобразования найдем

$$x_{\text{экстр}} = H(b + b_1)/(2b_1) + \psi d \cos \alpha/[2(1 + \psi)]. \quad (34)$$

Возьмем вторую производную выражения (33):

$$F_i'' = \xi [-4b_1/H - 4\psi b_1/H] = -\xi 4b_1(1 + \psi)/H. \quad (35)$$

Выражение (35) имеет отрицательное значение, следовательно, после подстановки  $x_{\text{экстр}}$  из формулы (34) в (31) получим максимальное усилие торцевания горизонтального ряда бревен. Выражение (34) показывает, что это усилие наблюдается ниже высоты центра тяжести площади прямоугольного контура, вписанного в формирующее устройство, за счет влияния распорных сил.

Для определения общего усилия торцевания пачки круглых лесоматериалов, расположенной в формирующем устройстве торцевывравнивателя, выполненного в форме равнобедренной трапеции, проинтегрируем уравнение (32), в котором выражение  $f_c m \gamma_d \rho L / (d \cos \alpha)$  перед интегралом обозначим через  $\xi$ . После интегрирования и преобразования получим

$$F_{\text{общ.г.р.}} = f_c m G_{\text{п}} H (1 - d/H)^3 (3b + b_1) / 3d \cos \alpha (2b + b_1) \{ (1 + \psi) [H/(H - d) + 2b_1d/(H - d)(3b + b_1)] - 3\psi d \cos \alpha / (3b + b_1) [H(2b + b_1) + b_1d]/(H - d)^2 \}. \quad (36)$$

Предложенные математические модели позволяют определить усилия торцевания пачек круглых лесоматериалов, размещенных в формировочных устройствах передвижных торцевывравнителей разных форм поперечного сечения: сложной (полукруг + прямоугольник) – по формуле (26); трапециевидальной – (36); прямоугольной:

$$F_{\text{общ.в.р}} = \rho \sin \alpha f_c m G_{\text{п}} H (1 - d/B) / 2d\pi (2 - d \sin \alpha / H)^2 \times \{ (1 + \psi)/4 + \{ (1 + \psi) + d \pi (1 - \psi) / [H(2 - d \sin \alpha / H) 2\rho \sin \alpha] \}, \quad (37)$$

треугольной:

$$F_{\text{общ.г.р}} = f_c m G_{\text{п}} H (1 - d/H)^3 / 3d \cos \alpha [(1 + \psi)(H + 2d)/(H - d) - 3\psi d \cos \alpha (H + d)/(H - d)^2], \quad (38)$$

полукруга:

$$F_{\text{общ.г.р}} = f_c m G_{\text{п}} 4R / (3\pi d \cos \alpha \pi) \{ (1 + \psi) [1 - \sqrt{1 - (1 - d/R)^2}]^3 - 3\psi \pi d \cos \alpha / 4 \}. \quad (39)$$

Достоверность полученных математических моделей подтверждается результатами производственных испытаний передвижных торцевывравнителей ТПК-10, ЛВ-169 на Кировской ЛПБ [3] и аналогичными исследованиями других авторов. Составлен алгоритм расчета усилий торцевания пучков и пачек круглых лесоматериалов передвижными торцевывравнителями на предприятиях с рейдами приплава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов М.В. Расчет усилия торцевания / М.В.Борисов // Лесн. пром-сть. – 1969. – № 7. – С. 6–7.
2. Варакса Н.Е. Экспериментальное исследование торцевывравнивания поворотным надвиганием щитов / Н.Е. Варакса, Я.И. Виноградов // Технология и комплексная механизация лесозаготовительных работ: межвуз. сб. науч. тр. / СибЛТИ, 1974. – Вып. 2. – С. 234–240.
3. Войтко П.Ф. Формирование лесных грузов на предприятиях с рейдами приплава / П.Ф. Войтко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 495 с. – Деп. в ВИНТИ 24.07.03; №1458-В2003.
4. Донской И.П. Усилия выравнивания торцов пакетов бревен / И.П. Донской, Я.И. Виноградов // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: межвуз. сб. науч. тр./ ЛТА, 1974. – Вып. 111. – С. 84–89.
5. Жарков Н.И. Технология и механизация выравнивания торцов пачек круглых лесоматериалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.И. Жарков. – Минск, 1987. – 17 с.
6. Кожанов Д.И. Исследование процессов торцовки и переплотки пучков / Д.И. Кожанов // Тр. / ВКФ ЦНИИлесосплава. – М., 1959. – Вып. 5. – С. 95.
7. Лебедь С.С. Теоретические основы исследования процессов формирования пакетов круглых лесоматериалов / С.С. Лебедь // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины: Респ. межвуз. сб. науч. тр.– Минск, 1988. – Вып. 3.– С. 19–30.
8. Лукин В.Т. Влияние формы поперечного сечения пакетов бревен на усилие их торцевания / В.Т. Лукин // Перспективы механизации рейдовых и лесоскладских работ: сб. тр. / ЦНИИлесосплава. – М., 1978. – С. 113–118.

9. *Николенко Д.И.* К вопросу о торцевании круглого леса в процессе перегрузки / Д.И. Николенко // Сб. науч. тр./ Одес. ин-т инж. морск. флота. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1979. – Вып. 12. – С. 97–100.

10. *Свиридюк К.А.* Аналитические исследования процесса выравнивания торцов бревен в установках гравитационного типа / К.А. Свиридюк// Сб. науч. тр. / ЦНИИМЭ. – 1975. – Вып. 143. – С. 122–129.

11. *Сокикас В.И.* Исследование взаимодействия круглых лесоматериалов с формирующим устройством при торцевывравнивании: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.И. Сокикас. – Красноярск, 1975. – 22 с.

12. *Труфанов А.А.* Выбор сечения обвязок сплавных пучков бревен / А.А. Труфанов // Лесн. пром-сть. – 1950. – № 8. – С. 9.

13. *Фадеев А.С.* Исследование усилия торцевания, развиваемого поворотным щитом гравитационного торцевывравнивателя / А.С. Фадеев, Г.С. Вахонина // Механизация работ на лесосплаве: сб. тр. / ЦНИИлесосплава, 1990. – С. 116–127.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 09.08.04

*P.F. Voitko*

### **Mathematical Model of Formation Process of Timber Cargo Bundle**

Mathematical model has been developed for formation process of timber cargo bundle by mobile trimmers before loading to transport facilities at the enterprises with inflow raids.





## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 69.025.351.3

*А.Р. Бирман*

Бирман Алексей Романович родился в 1947 г., окончил в 1970 г. Ленинградский механический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологий лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 80 научных и методических работ в области паркетного производства, модифицирования древесины, создания древесных нейтроназащитных материалов.



### ШТУЧНЫЙ ПАРКЕТ Пониженной ДРЕВЕСИНО- ЕМКОСТИ

Для снижения расхода древесины на 25 % при изготовлении планок штучного паркета пониженной древесинемкости предложено использовать новые профили соединительных элементов.

*Ключевые слова:* штучный паркет, профиль соединительных элементов, экономия древесины.

Штучный паркет (ШП) обладает рядом преимуществ, которые очевидны при сравнении технико-экономических показателей производства напольных деревянных покрытий. Так, для изготовления ШП требуется выполнить 5, а для производства паркетных досок и паркетных щитов – 13 ... 22 детали-операции. Трудоемкость изготовления 1 м<sup>2</sup> ШП составляет 0,700 чел./ч, паркетных досок – 0,852 чел./ч, паркетных щитов – 1,220 чел./ч. Расход необрезных пиломатериалов для ШП составляет 0,053 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, для паркетных досок – 0,081 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> (в том числе на изготовление планок лицевого покрытия – 0,041 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, реек основания – 0,040 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>), для паркетных щитов – 0,082 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> (соответственно 0,035 и 0,047 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>) [2]. Таким образом, ШП – наиболее выгодный для производства тип напольного деревянного покрытия, хотя затраты на устройство полов из него наиболее высокие.

Одним из факторов (на фоне общего дефицита древесины ценных пород), сдерживающих выпуск ШП, является высокий процент отходов при выработке планок. Так, выход фризы из дубовых необрезных досок второго сорта составляет 60 ... 64 %, из досок третьего сорта – 55 ... 61 %. В свою очередь, среднее значение полезного выхода ШП из фризы 45 ... 50 %.

Приведенные цифры доказывают необходимость снижения удельного расхода сырья. Это возможно осуществить за счет снижения материалоемкости.

емкости планок ШП и применения ресурсосберегающих технологий механической обработки древесины.

Цель нашей работы – достичь снижения удельного расхода сырья при использовании предлагаемой нами конструкции планок ШП пониженной древесинемкости [1].

Известно, что общая толщина планок из древесины твердых листовых пород по ГОСТ 862.1–85 составляет 15 мм, толщина слоя износа – 7 мм, высота паза (гребня) – 4 мм, толщина нижней части – 4 мм.

Толщина слоя износа и высота паза (гребня) – постоянные величины в соответствии с эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к ШП. Тогда толщину паркетной планки можно уменьшить только за счет ее нижней части (при условии обеспечения эксплуатационных требований к прочности сборки ШП). Это реализовано в предлагаемой разработке: профиль пазов и гребней выполнен в форме прямоугольной трапеции, большее основание которой лежит в одной плоскости с нижней границей слоя износа, а обратная сторона паркетной планки смещена в сторону лицевой поверхности до уровня меньшего основания трапеции.

Следует отметить, что простое отсечение нижней части планки при сохранении прямоугольного профиля сечения пазов и гребней невозможно, так как контактные поверхности соседних планок не удерживают их от вертикального перемещения относительно друг друга при укладке пола на неровное основание.

Новая конструкция планки ШП представлена на рис. 1. Толщина планок пониженной древесинемкости может быть уменьшена до 11 мм. Размеры паркетных планок по ширине и длине, шероховатость поверхности, качество древесины, маркировка, упаковка, правила приемки и методы испытаний, транспортировка и хранение планок, гарантии изготовителя должны соответствовать ГОСТ 862.1–85. Сборку предлагаемого ШП осуществляют совмещением гребня и паза. Планки крепят к основанию с помощью клеевых мастик (КДС-2, ТУ 21-29-69–78, КН-3, ТУ 21-29-2–74 и др).

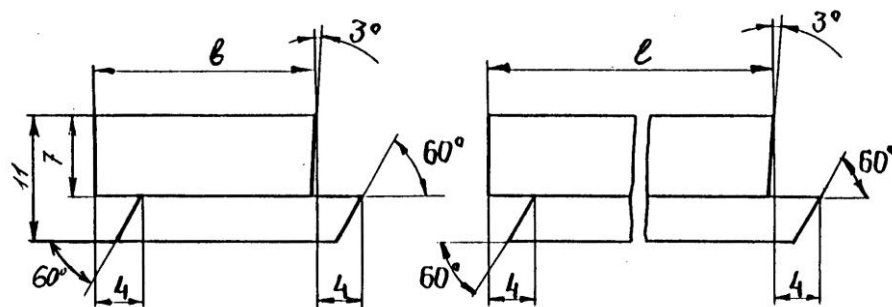


Рис. 1. Штучный паркет пониженной древесинемкости

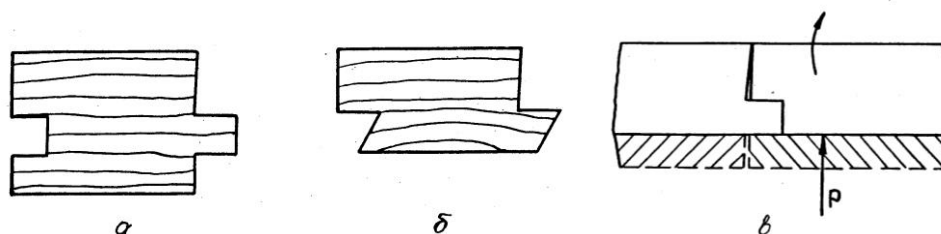


Рис. 2. Сечения паркетных планок (*а* – по ГОСТ 862.1–85; *б* – пониженной древесинемкости) и их соединение (*в*) по ГОСТ 862.1 – 85

На рис. 2, *а*, *б* показаны сечения паркетной планки по ГОСТ 862.1–85 и предлагаемого штучного паркета, которые выполнены в одном масштабе, что помогает увидеть конструктивные изменения: новый профиль паза и гребня, отсутствие нижней части.

На рис. 2, *в* проиллюстрирована невозможность уменьшения толщины планки, выполненной по ГОСТ 862.1–85, за счет исключения ее нижней части, отмеченной штриховкой, так как в этом случае соединительные элементы не удерживают соседнюю планку при укладке пола на неровное основание. Воздействие неровностей обозначено силой *P*, а направление смещения планки от действия силы *P* – стрелкой.

Штучный паркет с пазами и гребнями трапецеидального профиля удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к паркетным планкам ШП по ГОСТ 862.1–85: верхняя сторона профиля, являясь опорной, служит установочной базой одной планки относительно другой и обеспечивает создание единой плоскости пола при сборке паркета; наклонная сторона профиля соединительных элементов удерживает планки от возможного вертикального перемещения.

Таким образом, при изменении профиля паза и гребня (при сохранении всех требуемых параметров, предъявляемых к ШП), отпадает необходимость в нижней части. Поэтому планка может быть тоньше на эту величину.

Согласно расчетам, прочность соединительных элементов планок ШП пониженной древесинемкости в 2 раза превышает прочность элементов по ГОСТ 862.1–85.

Предлагаемая конструкция штучного паркета может быть изготовлена на серийных станках (например ПАРК-9, -10) с незначительной их модернизацией и установкой новых фрез для выполнения трапецеидального профиля паза и гребня.

На конструкцию планки ШП пониженной древесинемкости получено авторское свидетельство на изобретение, разработаны технические условия для РФ и Украины, техническая инструкция «Изготовление штучного паркета пониженной древесинемкости», «Технологические режимы обработки штучного паркета пониженной древесинемкости», режущий инструмент и предельные калибры.

Таблица 1

Размеры паркетной планки, мм						Рациональные размеры фризы при влажности 20 %, мм		
номинальные (без учета высоты гребня)			габаритные (с учетом высоты гребня)					
Длина*	Ширина	Толщина	Длина*	Ширина	Толщина	Длина*	Ширина	Толщина
150...500	11	30	154...504	11	34	170...520	15	40
		35			39			45
		40			44			50
		45			49			55
		50			54			60

\* Длина паркетной планки с градацией 50 мм

Опытная партия ШП пониженной древесинемкости была изготовлена на ДОЗ № 5 (г. С.-Петербург) и использована при устройстве полов жилых зданий нового городского строительства. Проведенные испытания показали высокую эксплуатационную надежность и качество полов. Экономия сырья при изготовлении опытной партии составила 25 %. Трудозатраты при настиле полов снизились на 8 ... 10 %.

Нами совместно с ПО «Союзнаучстандартдом» определены нормы расхода пиломатериалов на ШП пониженной древесинемкости, изготовляемый по ТУ 401-07-248–86 из заготовки (фризы) по ГОСТ 7897–83 «Заготовки листовых пород». Расчетные размеры заготовок (мм) для паркетных планок с учетом припусков на обработку и усушку приведены в табл. 1.

Расход пиломатериалов на фризу зависит от породы, качества пиломатериалов, а также нормативных потерь и отходов, обусловленных технологией переработки исходных пиломатериалов.

К операционным относят отходы, образующиеся при сушке фризы по нормативным режимам и связанные с повторной обработкой из-за вскрытых пороков и дефектов.

На нормы расхода пиломатериалов оказывает влияние теоретический расход фризы  $P_T$  на 1 м<sup>2</sup> паркетных планок. Его рассчитывают дифференцированно по типоразмерам планок, исходя из рациональных размеров заготовок при влажности 20 % и стандартных размеров паркетных планок при влажности 9 %, по формуле

$$P_{\partial_i} = \frac{V_{\zeta_i}}{F_{\tau_i}}$$

где  $V_{\zeta_i}$  – объем одной заготовки определенных размеров;

$F_{\tau_i}$  – площадь готовой паркетной планки, отвечающей данным размерам заготовки, м<sup>2</sup>;

$i$  – индекс размерной характеристики заготовки.

Таблица 2

Длина паркетной планки, мм	Значения $P_T$ , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> , при ширине паркетной планки, мм				
	30	35	40	45	50
150	0,0227	0,0219	0,0213	0,0207	0,0204
200	0,0220	0,0213	0,0206	0,0202	0,0198
250	0,0216	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194
300	0,0213	0,0206	0,0200	0,0196	0,0192
350	0,0212	0,0204	0,0199	0,0194	0,0190
400	0,0210	0,0203	0,0197	0,0193	0,0189
450	0,0209	0,0201	0,0196	0,0192	0,0188
500	0,0208	0,0201	0,0195	0,0191	0,0187

Таблица 3

Порода древесины	Нормы расхода, м <sup>3</sup> /тыс. м <sup>2</sup>	
	по ТУ 401-07-248-86	по ГОСТ 862.1-85
Дуб, ясень	39,910	49,875
Бук	40,138	50,162
Береза	43,778	54,711
Граб	40,370	50,451

На основании расчетных данных получены нормативные значения теоретического расхода фрезы  $P_T$  на 1 м<sup>2</sup> паркетных планок, приведенные в табл. 2.

На основании данных табл. 2 и нормативов, учитывающих все регламентируемые отходы и потери, разработаны нормы расхода пиломатериалов на ШП пониженной древесинемкости.

Нормы расхода пиломатериалов на ШП для условий работы типового паркетного производства представлены в табл. 3, в которой для сравнения приведены нормы расхода пиломатериалов на ШП по ГОСТ 862.1-85 для тех же производственных условий.

Анализ данных табл. 3 показал, что на изготовление паркета пониженной древесинемкости по ТУ 401-07-248-86 требуется на 20 ... 25 % пиломатериалов меньше, чем по ГОСТ 862.1-85.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1161391 СССР, МКИ В 27М 3/04. Штучный паркет / Бирман А.Р., Гудцев Р.И., Ерошкин А.Н., Жигун О.Т. (СССР). – № 4336497/29-15; заявл. 27.04.87; опубл. 23.02.89, Бюл. № 7. – С. 14.

2. Бурдин Н.А. Нормы расхода сырья и материалов в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Справочник / Н.А. Бурдин [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 336 с.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 12.03.03



---

*A.R. Birman*

**Block Parquet of Reduced Wood Capacity**

It is proposed to use new profiles of connectives for decreasing wood consumption on 25% when producing block parquet planks of reduced wood capacity.



УДК 674.047.3

**Т.К.Курьянова, А.Д.Платонов, В.С.Петровский**

Курьянова Татьяна Казимировна родилась в 1937 г., окончила в 1962 г. Воронежский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 70 печатных работ в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.



Платонов Алексей Дмитриевич родился в 1966 г., окончил в 1993 г. Воронежский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 30 печатных работ в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.



Петровский Владислав Сергеевич родился в 1933 г., окончил в 1956 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН. Имеет более 350 печатных работ в области математического моделирования, оптимизации компьютеризации, автоматизации технологий и оборудования лесного комплекса.

**СУШКА ТВЕРДЫХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Рассмотрены особенности конвективной сушки древесины твердых лиственных пород после предварительной химической обработки.

*Ключевые слова:* влагопроводность, испарение, тилы, проводящие элементы, внутренние напряжения, глубина пропитки, гигроскопичность, сушка, проварка.

Сушка древесины является одним из самых сложных и энергоемких процессов в деревообрабатывающей промышленности. Поэтому сокращение продолжительности сушки при сохранении качества и снижение энергоемкости всегда были актуальными направлениями научных исследований.

Теоретически оптимальной считается сушка, при которой скорость продвижения влаги из внутренних слоев приближается к скорости ее испарения с поверхности древесины. Таким образом, основным параметром, определяющим продолжительность сушки, является влагопроводность. Именно в достижении интенсивного движения влаги внутри материала (из цен-

тральной зоны к его поверхности) скрываются возможности получения высоких технико-экономических показателей процесса сушки.

Влагопроводность зависит от многих факторов (порода, плотность, направление тока влаги и др.), но наибольшее влияние на нее оказывает температура: при ее повышении влагопроводность существенно возрастает.

Однако повышение температуры приводит к ужесточению режима сушки и увеличению интенсивности испарения влаги с поверхности древесины, что в свою очередь вызывает неравномерное ее распределение по толщине материала и возникновение опасных внутренних напряжений.

Уменьшить интенсивность испарения влаги с поверхности материала возможно за счет повышения влажности агента сушки, но это в свою очередь уменьшит потенциал влагопереноса и увеличит продолжительность процесса сушки. Таким образом, увеличение интенсивности движения влаги внутри материала за счет изменения существующих рациональных режимов сушки не является эффективным и целесообразным.

В настоящее время проводятся обширные исследования, направленные на интенсификацию процесса сушки. Однако существенное сокращение ее продолжительности при этом достигается за счет использования технически сложных и дорогостоящих конструкций сушильных камер (СВЧ, ТВЧ, вакуумно-дielekтрических и др.). Эти способы не находят широкого промышленного применения, поскольку их эффективность ограничена рядом факторов: породой, толщиной, начальной влажностью, объемом высушиваемого материала, сложностью конструкций и управления камерами и т.д.

На скорость перемещения влаги основное влияние оказывает строение самой древесины. Поэтому знание строения древесины на макро- и микроскопическом уровнях позволит более ясно представить механизм передвижения влаги и даст возможность изыскания других эффективных способов сушки.

Представляется целесообразным сместить акценты исследований в сторону объекта сушки – древесины.

Известно, что продолжительность сушки во многом зависит от породы древесины, т. е. от ее плотности. Чем плотнее древесина, тем сложнее и длительней будет процесс удаления из нее влаги.

Если сравнить структуру и продолжительность сушки хвойных и лиственных пород, то можно отметить, что структура хвойных проще, соответственно и продолжительность сушки меньше. Следовательно, структура древесины оказывает существенное влияние на влагопроводность. Практика показывает, что процесс сушки древесины хвойных пород проходит легче и быстрее, чем лиственных. Поэтому энергоемкость и себестоимость сушки лиственных пород значительно выше, чем хвойных.

Но среди лиственных пород наблюдается большой разброс в продолжительности сушки. Так, к группе трудносохнущих пород можно отнести большинство кольцесосудистых. При рассмотрении их строения можно отметить, что эти древесные породы имеют очень развитую и наиболее совершенную систему влагопроводящих элементов. Однако, имея столь со-

вершенную влагопроводящую систему, они сохнут дольше. Кроме того, при одинаковой базисной плотности, например, древесина ясеня высыхает в 2 раза быстрее, чем дуб.

Из всей группы трудносохнущих древесных пород наибольший практический интерес представляет дуб. Его древесина имеет красивую текстуру, обладает высокими прочностными и эксплуатационными свойствами, отличается хорошей устойчивостью к воздействию грибов. Изделия из нее имеют большой срок службы. Однако, кроме перечисленных достоинств, она имеет существенный недостаток – при ее сушке возникают большие затруднения. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть структуру и состав проводящих элементов на примере древесины дуба.

В ранней зоне годовичного слоя древесины дуба располагаются в 2-3 ряда крупные сосуды. Остальная масса древесины этой зоны состоит преимущественно из клеток древесной паренхимы и одноклеточных и многоклеточных сердцевинных лучей, пересекающих эту зону.

Поздняя древесина по своему строению значительно отличается от ранней. Мелкие сосуды поздней древесины собраны в обособленные группы, между ними располагаются преимущественно трахеиды. Группы сосудов и трахеид представляют собой систему клеток, приспособленную для проведения воды. В этой же зоне расположены группы волокон либриформа, между волокнами либриформа и трахеидами размещаются клетки древесной паренхимы.

В системе, проводящей воду, различают сосуды и трахеиды. Сосуды по сравнению с замкнутыми трахеидами совершенно приспособлены к продвижению воды. На их стенках имеются мелкие поры, размещенные свободно без видимого порядка.

Трахеиды дуба и других лиственных пород играют подсобную роль, являясь водопроводящими и механическими, а иногда запасными элементами. На стенках трахеид поры располагаются или вертикально, в один ряд, или беспорядочно. Все поры мелкие, с хорошо выраженным окаймлением и округлыми отверстиями.

Помимо основных водопроводящих элементов сосудов и трахеид в древесине дуба способны выполнять эти функции лежащие трахеиды сердцевинных лучей. Древесная и лучевая паренхима древесины ствола состоит не из разрозненных клеток, а представляет единую систему, каждая клетка которой сообщается с другими паренхимными элементами и сосудами. При отмирании паренхимных клеток цитоплазма вымывается, и они становятся способными проводить влагу. Поры в стенках паренхимных клеток сердцевинных лучей мелкие. При соприкосновении с сосудами величина пор значительно возрастает. Таким образом, древесная и лучевая паренхима также играет большую роль в процессах водообмена в стволе дерева.

Волокна либриформа являются механической тканью в древесине ствола дерева. Эти прозенхимные клетки имеют толстые стенки и весьма небольшую полость. В отличие от трахеид, волокна либриформа на стенках несут простые щелевидные поры [3].

Анализ структуры элементов, входящих в состав древесины дуба, показывает, что все они в большей или меньшей степени участвуют в процессах водопроводности. Главной водопроводящей структурой являются сосуды. Остальные элементы, соприкасаясь с сосудами посредством пор, образуют единую сообщающуюся водопроводящую систему.

В зависимости от условий произрастания сосуды дуба сохраняют водопроводящую способность от 4 до 12 лет. Утрата водопроводящей способности происходит по причине закупорки сосудов тилами. Таким образом, большая часть сосудов водопроводящей системы дуба со временем перестает выполнять свои функции, за исключением заболонной части ствола. Такое исключение большей части сосудов из водопроводящей системы очень сильно затрудняет передвижение влаги по древесине. Следовательно, чтобы увеличить интенсивность передвижения влаги необходимо «подключить» к общей водопроводящей системе сосуды, закупоренные тилами.

Тилы – это элементы паренхимной ткани древесины, имеющей весьма тонкую целлюлозную оболочку. Разрушить стенки тил можно путем непродолжительного воздействия на них температуры и избыточного давления. На практике достичь этого несложно, достаточно прогреть древесину до температуры кипения воды. При этом свободная вода в полостях клеток вскипает и превращается в пар. Но поскольку быстрый выход пара из древесины затруднен, то в ней образуется избыточное парциальное давление по отношению к атмосферному. Этого совместного воздействия температуры и давления достаточно для разрушения тил.

Разрушение тил в сосудах позволит соединить все проводящие элементы в единую систему. Это, в свою очередь, существенно сократит время перемещения влаги из внутренней части пиломатериалов к поверхности. Сокращение продолжительности сушки будет особенно ощутимым в заключительный период падающей скорости сушки, когда в общем процессе водопроводности преобладает движение влаги в виде пара.

При традиционной конвективной сушке испарение влаги с поверхности древесины протекает гораздо интенсивнее, чем ее продвижение из внутренних слоев. Поверхность пересыхает и плохо проводит влагу, покрывается «коркой».

Понизить влагоотдачу поверхностных слоев можно путем введения в них гигроскопичного раствора. Это позволит использовать известное свойство растворов, заключающееся в том, что упругость пара раствора упругости пара чистого растворителя. В пиломатериалах, наружные слои которых пропитаны раствором соли, упругость пара на поверхности меньше, чем во внутренних слоях, где содержится вода (чистый растворитель). Эта разность парциальных давлений и вызывает более интенсивный внутренний перенос влаги в материале, что и способствует ускорению процесса сушки [1].

Если в качестве среды при прогреве древесины использовать соляной раствор, то можно достичь двойного эффекта. Во-первых, под действием избыточного давления при интенсивном парообразовании (вскипании)

свободной влаги разрушаются тилы, во-вторых, осуществляется поверхностная пропитка соляным раствором.

Глубина проникновения соляного раствора в древесину будет незначительной, поскольку в процессе предварительной химической обработки в древесине одновременно имеют место два встречных физических явления: первое – это проникновение соли в древесину за счет диффузии, второе, более интенсивное – переход влаги из древесины в раствор вследствие избыточного давления.

В период предварительной химической обработки древесины отмечается незначительное снижение ее влажности. Это свидетельствует о том, что одновременно с прогревом и пропиткой древесины осуществляется процесс сушки. Непродолжительное воздействие высокой температуры раствора практически не сказывается на прочностных свойствах древесины.

Таким образом, предварительная химическая обработка позволяет повысить водо- и влагопроводность древесины при одновременном уменьшении интенсивности испарения влаги с ее поверхности, что позволит избежать пересыхания поверхностных слоев, уменьшить перепад влажности по толщине и существенно снизить величину остаточных напряжений в материале.

Для подтверждения теоретических предпосылок нами была проведена серия опытных сушек древесины дуба Воронежской области: толщина ЧМЗ – 50 мм, начальная влажность 75 ... 77 %, конечная 8 ... 9 %. Торцы покрывали замазкой, что позволило приблизить условия сушки к длинным пиломатериалам. Сушку проводили в два этапа: предварительная обработка и последующая сушка до конечной влажности в конвективной камере.

Продолжительность сушки – 10 сут. вместо 30 расчетных по нормативным коэффициентам. При этом высушенная древесина соответствовала требованиям 1-й и 2-й категорий качества сушки. Перепад влажности по сечению ЧМЗ – 2,5 ... 3,0 %, величина внутренних остаточных напряжений – не более 2,5 МПа при допустимых  $\sigma_{\text{доп}} = 5,6 \text{ МПа}$  ( $\sigma_{\text{доп}} = 0,7\sigma$ , где  $\sigma$  – предел прочности на разрыв поперек волокон, для дуба  $\sigma = 8 \text{ МПа}$ ) [4]. Высушенная древесина не имела трещин.

В результате предварительной химической обработки глубина проникновения раствора составила 0,15 ... 0,20 мм. Этот слой при дальнейшей механической обработке будет удален, что позволит избежать такого нежелательного явления, как повышенная гигроскопичность поверхности древесины. Однако, как показали длительные наблюдения за пропитанной древесиной, увеличение ее гигроскопичности по отношению к натуральной древесине отмечено лишь при повышении относительной влажности среды более 75 %.

Применение предварительной химической обработки раствором гигроскопических веществ позволяет сократить продолжительность сушки, в частности, древесины дуба в 3 раза при полном сохранении ее прочностных свойств, отсутствии трещин и небольших внутренних напряжений. Величина внутренних напряжений соответствует 2-й категории качества. Кро-

ме того, из технологического процесса исключаются энергоемкие технологические операции прогрева и влаготеплообработки древесины [2]. Процесс сушки можно проводить в обычных конвективных сушильных камерах без какой-либо их модернизации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малеев В.И.* Ускоренная сушка древесины / В.И. Малеев, В.А. Баженов // Лесн. индустрия. – 1937. – № 9. – С. 65–71.
2. Пат. 2096702 РФ, С1 РФ, 6 FВ 3/4. Способ сушки дубовых заготовок / Курьянова Т.К. и др. – № 95112874/06; заявл.20.07.95; опубл.20.11.97, Бюл. № 32 – 6 с.
3. *Перельгин Л.М.* Строение древесины / Л.М. Перельгин. – М.: АН СССР, 1954. – 200 с.
- 4 *Уголев Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебн. для лесотехн. вузов. / Б.Н. Уголев. – 3-е изд. перераб. и допол. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 2.04.03

*T.K. Kurjanova, A.D. Platonov, V.S. Petrovsky*

#### **Hardwood Drying with Preliminary Chemical Treatment**

Peculiarities of convection drying of hardwood after preliminary chemical treatment are considered.

УДК 674.093

*А.Е. Алексеев, М.В. Захаров*

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой мехатроники Севмашвуза. Имеет свыше 100 научных трудов в области лесопиления.



Захаров Максим Владимирович родился в 1976 г., окончил в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, ассистент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 научных работ в области автоматизации технологических процессов лесопиления.



### **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ ФОРМЫ И ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ СОРТИМЕНТОВ**

Предложен способ измерения геометрических размеров круглых лесоматериалов; разработан математический аппарат для обработки получаемой с измерителя информации; изложены технологические требования к измерителю кольцевой формы.

*Ключевые слова:* измеритель, сортимент, модель, образующая, сечение, форма.

Повышение информативности измерительных операций, совершенствование методов обработки информации, а также технических средств измерения, контроля и учета требуемых параметров являются основными направлениями разработки и создания современных технологий и оборудования. Известные измерительные устройства позволяют анализировать плоскую форму поперечного и продольного сечений сортимента в одной или нескольких плоскостях. Это определяется конструкцией измерителей, имеющих одну или несколько пар параллельно установленных плоских измерительных линеек. При этом повышение многогранности формы рамы измерителя (от квадратной до многоугольной) ограничено точностью определения формы измеряемого сечения сортимента. Иначе при проектировании одного измерителя с многократным сокращением длины отдельной линейки требуемый охват зоны измерений сортимента приведет к увеличению размеров рамы. В другом случае для достижения требуемого результата измерений потребуется несколько последовательно установленных рам.

При выбранной стратегии оптимального поиска основывались на принципе минимакса. В соответствии с положениями теории исследования операций применение такого подхода гарантирует результат по совокупности признаков, по крайней мере, не худший из возможных.



Выбор функции, описывающей гладкую замкнутую линию в полярной системе координат. Определение такой функции необходимо для построения математической модели рамы измерителя. При известных полярных координатах  $N + 1$  произвольных точек (узлов)  $R_i = F(\phi_i)$ ,  $I = 0, \dots, N$ , через которые необходимо провести замкнутую гладкую линию. В первом приближении очевидно принять полином  $R_N = \sum a_i \phi_i^i$ . Однако при этом нарушается условие гладкости. Поскольку полином не является периодической функцией, в точке  $\phi = 0$  образуется дефект (перегиб).

Другой вариант – соединить узлы кубическими сплайнами. При этом придется иметь дело с  $N + 1$  отдельными функциями. Сплайновая интерполяция эффективна при большом количестве узлов, когда нет необходимости в нахождении функции для всего интервала. В целом число узлов следует принимать минимально допустимым. В этом случае целесообразно определить единственную функцию для всего интервала  $[0; 2\pi]$ .

За основу примем функцию  $f(\phi) = Ae^{-\phi^2}$ , которая проходит через 1-й узел. Экстремум данной функции равен  $A$  при  $\phi = 0$ . Если какой-либо узел имеет полярный угол  $\phi_i = 0$ , то коэффициент  $A$  равен полярному радиусу узла  $R_i$ . Если  $\phi_i <> 0$ , то функцию  $f(\phi)$  необходимо сдвинуть на соответствующий угол

$$f(\phi, \phi_i) = R_i e^{-(\phi - \phi_i)^2}. \quad (1)$$

Таким образом, экстремум функции будет попадать на  $i$ -й узел интерполяции. Однако функция (1) – непериодическая, следовательно, она не является непрерывной. Введем корректирующую функцию  $q(\phi, \phi_i)$ , чтобы функция  $f(\phi, \phi_i)$  стала периодической с периодом  $2\pi$ :

$$q(\phi, \phi_i) = \begin{cases} \begin{cases} 0 & \phi \leq (\phi_i + \pi) \\ -2\pi & \phi > (\phi_i + \pi) \end{cases} & (\phi_i \leq \pi); \\ \begin{cases} 2\pi & \phi \leq (\phi_i - \pi) \\ 0 & \phi > (\phi_i - \pi) \end{cases} & (\phi_i > \pi). \end{cases} \quad (2)$$

Тогда скорректированная функция (1) примет вид

$$f(\phi, \phi_i) = R_i e^{-(\phi - \phi_i + q(\phi, \phi_i))^2}. \quad (3)$$

На рис. 1 изображены графики данной функции, точками обозначены узлы интерполяции. Так как  $f(0, \phi_i) = f(2\pi, \phi_i) = R_i e^{-(\phi_i)^2}$  и производные  $f^{(n)}(0, \phi_i) = f^{(n)}(2\pi, \phi_i)$ , то функция  $f(\phi, \phi_i)$  в точках  $\phi = 0$  и  $\phi = 2\pi$  является непрерывной и гладкой.

Проанализируем поведение функции в другой критической точке:  $\phi = \phi_i + \pi$ . Для этого сравним значения самой функции и ее первой производной слева и справа от данной точки:

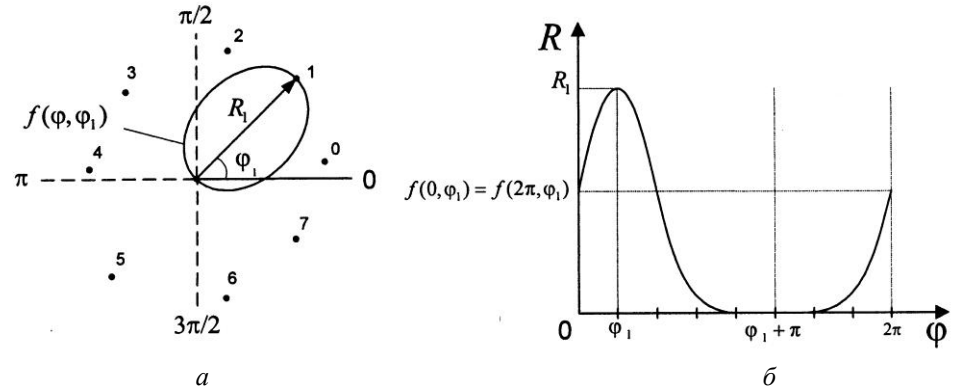


Рис. 1. Графики функции  $f(\phi, \phi_1)$  в полярных (а) и прямоугольных (б) координатах

$$\begin{aligned}
 f(\phi_i + \pi - 0, \phi_i) &= R_i e^{-\pi^2}; \\
 f(\phi_i + \pi + 0, \phi_i) &= R_i e^{-(-\pi)^2} = R_i e^{-\pi^2}; \\
 f'(\phi_i + \pi - 0, \phi_i) &= (\phi_i - \phi) 2R_i e^{-(\phi - \phi_i)^2} = -2\pi R_i e^{-\pi^2}; \\
 f'(\phi_i + \pi + 0, \phi_i) &= (\phi_i - \phi + 2\pi) 2R_i e^{-(\phi - \phi_i - 2\pi)^2} = 2\pi R_i e^{-\pi^2}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Так как  $f(\phi_i + \pi - 0, \phi_i) = f(\phi_i + \pi + 0, \phi_i)$ , то функция является непрерывной в этой точке. Однако производные не совпадают, следовательно, функция в этом месте имеет дефект. Величина перегиба соответствует разности производных слева и справа от критической точки. Поскольку  $f(\phi_i + \pi, \phi_i) \approx 0$  и  $f'(\phi_i + \pi - 0, \phi_i) = -f'(\phi_i + \pi + 0, \phi_i) \approx 0$ , то этот дефект очень незначителен, и, с достаточной для практических расчетов точностью, им можно пренебречь.

Функцию кривой, проходящей через все узлы (рис. 2), определим как сумму функций  $f(\phi, \phi_i)$  каждого узла:

$$R(\phi) = \sum_{i=0}^N A_i e^{-(\phi - \phi_i + q(\phi, \phi_i))^2}. \tag{5}$$

Коэффициенты  $A_i$  находим из решения системы уравнений

$$R_p = \sum_{i=0}^N A_i e^{-(\phi_p - \phi_i + q(\phi_p, \phi_i))^2}, \quad p = 0, 1, \dots, N. \tag{6}$$

Выбор математической модели рамы измерителя. Рама измерителя имеет близкую к окружности форму. Так как форма рамы влияет на показания измерителя при обмере сечения сортимента, необходимо задать математическую модель, которая бу-

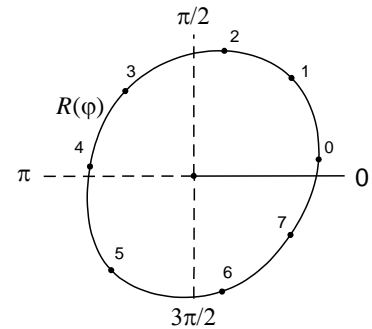


Рис. 2. Кривая, проходящая через все узлы

дет корректировать погрешности, порождаемые неправильной формой рамы.

Форму рамы определяют по расстояниям  $R_0 \dots 7$  между противоположными точками рамы. Угловые координаты каждой точки равны  $i(\pi/4)$ ,  $i = 0, \dots, 7$ . Тогда математическая модель рамы

$$R(\phi) = \sum_{i=0}^7 A_i e^{-\left(\phi - i\frac{\pi}{4} + q(\phi, i)\right)^2}, \quad (7)$$

$$\text{где } q(\phi, i) = \begin{cases} \begin{cases} 0 & \phi \leq (i+4)\pi/4 \\ -2\pi & \phi > (i+4)\pi/4 \end{cases} & (i \leq 4); \\ \begin{cases} 2\pi & \phi \leq (i-4)\pi/4 \\ 0 & \phi > (i-4)\pi/4 \end{cases} & (i > 4). \end{cases}$$

Коэффициенты  $A_i$  находят из решения системы

$$R_p = \sum_{i=0}^7 A_i e^{-\left(p\frac{\pi}{4} - i\frac{\pi}{4} + q(p\frac{\pi}{4}, i)\right)^2}; \quad p = 0, 1, \dots, 7. \quad (8)$$

Если рама – идеальная окружность, то  $A_0 = A_1 = \dots = A_7$ .

Определение математической модели сечения сортимента. На рис. 3 приведена схема измерения сечения сортимента. Поверхность сечения может быть представлена замкнутой кривой, вписанной в многоугольник ABCDEFGH. Для определения математической модели необходимо найти полярные координаты точек  $Z_0 \dots k$  (узлов). Однако результаты измерений нам дают только номера излучателей на позициях свет/тень относительно каждого приемника (на рис. 3 положение этих излучателей отмечено прямыми линиями).

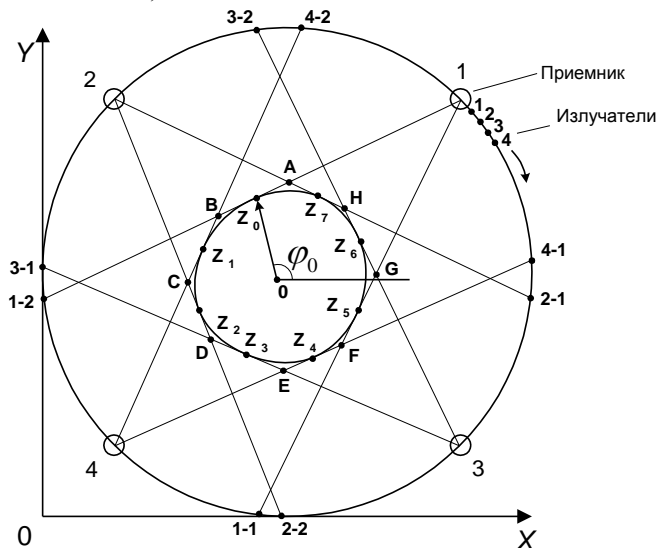


Рис. 3. Процесс измерения сечения сортимента

Координаты узлов находят по следующему алгоритму.

а) Определить координаты центра рамы в прямоугольных координатах

$$X_c = R(\pi); Y_c = R(3\pi/2). \quad (9)$$

б) Определить прямоугольные координаты приемников как координаты любой точки на поверхности рамы по известному полярному углу  $\phi$  этой точки:

$$X_p = X_c + R(\phi) \cos \phi; \quad Y_p = Y_c + R(\phi) \sin \phi; \quad (10)$$

в) Определить координаты излучателей, которые находятся на равном угловом расстоянии друг от друга  $\phi_i = \frac{9}{4}\pi + \frac{\pi}{N} - \frac{2\pi i}{N}$ :

$$X_i = X_c + R(\phi_i) \cos \phi_i; \quad Y_i = Y_c + R(\phi_i) \sin \phi_i. \quad (11)$$

Здесь  $N$  – общее число излучателей,  $i = 0, \dots, N - 1$  (вычисления (9)–(11) необходимо выполнить только один раз за все время проведения измерений, поскольку форма рамы, число и положение приемников и излучателей – величины постоянные);

г) Определить номера (соответственно и координаты) излучателей, лучи которых образуют многоугольник (рис. 4):

$$X_i = \frac{X_i + X_{i+1}}{2}; \quad Y_i = \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \quad (12)$$

или

$$X_i = \frac{X_i + X_{i-1}}{2}; \quad Y_i = \frac{Y_i + Y_{i-1}}{2}. \quad (13)$$

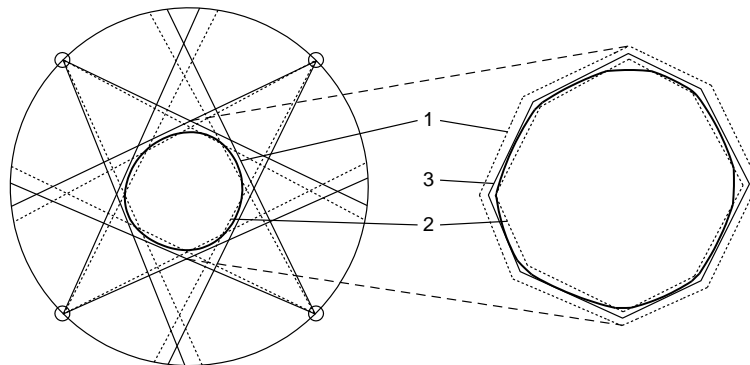


Рис. 4. Определение многоугольника, описывающего сечение сортирента: 1 – лучи, охватывающие сечение; 2 – лучи, сдвинутые к центру рамы на один излучатель; 3 – усредненный многоугольник

д) Определить уравнения лучей, соединяющих  $i$ -й излучатель с  $j$ -м приемником:

$$Y_{(i,j)} = K_{(i,j)} X + B_{(i,j)}, \quad (14)$$

где  $K_{(i,j)} = \frac{Y_{pj} - Y_i}{X_{pj} - X_i}$ ;  $B_{(i,j)} = Y_i - K X_i$ .

е) Определить координаты точки пересечения двух лучей  $Y_{(a,b)}$  и  $Y_{(c,d)}$  (т.е. точки  $A, B, C \dots H$ ):

$$X_s = \frac{B_{(c,d)} - B_{(a,b)}}{K_{(a,b)} - K_{(c,d)}}; \quad Y_s = Y_{(a,b)}(X_s). \quad (15)$$

ж) Определить координаты узлов  $Z_0 \dots Z_7$  как координаты середины отрезка между соседними точками пересечения лучей:

$$X_z = \frac{X_{s1} + X_{s2}}{2}; \quad Y_z = \frac{Y_{s1} + Y_{s2}}{2}. \quad (16)$$

Следующая задача – найти такую замкнутую кривую, чтобы она проходила через точки  $Z_0 \dots Z_k$  и одновременно вписывалась в многоугольник ABCDEFHG. Функция (7) для этой цели непригодна, так как она не будет вписываться в данный многоугольник, по этой же причине непригодны все классические интерполяционные модели, в том числе и кубические сплайны.

Рассмотрим один произвольный угол многоугольника (рис. 5), образованный линиями  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$ . Нам известны координаты точек  $Z_i$  и  $Z_{i+1}$  на поверхности этого многоугольника. Требуется определить функцию  $Q(\phi)$ , проходящую через эти точки и вписанную в многоугольник, т.е. не выходящую за пределы линий  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$ .

Очевидно, что линии  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$  должны являться касательными к функции  $Q(\phi)$ . Следовательно, условие «вписываемости» функции  $Q(\phi)$  в угол многоугольника – это равенство производных линий, образующих угол, с производной функции  $Q(\phi)$  в точках  $Z_i$  и  $Z_{i+1}$ . Однако в прямоугольных координатах решать поставленную задачу невозможно, так как на некоторых промежутках функция  $Q(x)$  должна принимать одновременно два значения при одном значении  $x$ . Решение возможно в полярных координатах.

Выберем точку отсчета полярных координат. Если принять ее совпадающей с точкой отсчета прямоугольных координат, то уравнения прямых  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$  необходимо перевести из прямоугольных координат в полярные, что является сложной задачей. Поэтому выберем положение точки отсчета так, чтобы максимально упростить перевод исходных данных задачи из одной системы координат в другую. На самом деле нет необходимости

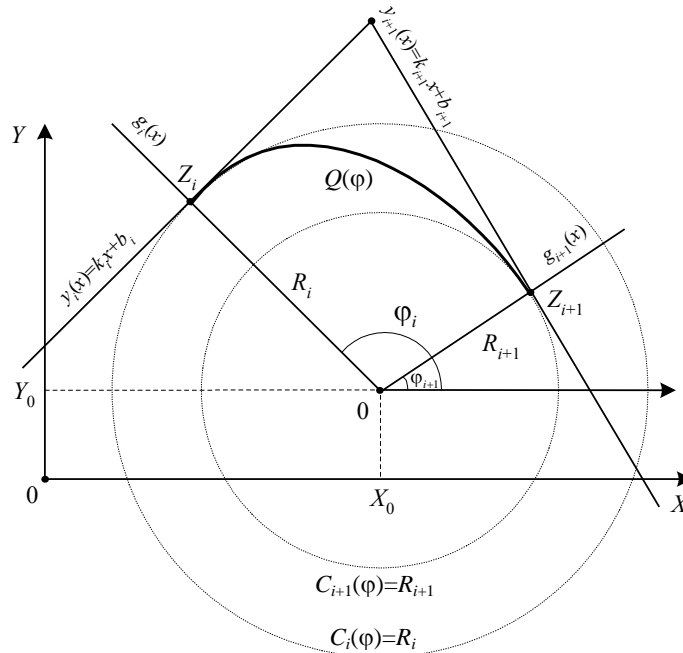


Рис. 5. Определение кривой  $Q(\phi)$ , вписанной в угол многоугольника и проходящей через узлы  $Z_i$  и  $Z_{i+1}$

полностью переводить уравнения прямых  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$ , достаточно найти такие функции  $C_i(\phi)$  и  $C_{i+1}(\phi)$ , которые бы совпадали по направлению с прямыми  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$  в точках  $Z_i$  и  $Z_{i+1}$ , т.е. эти прямые являлись бы касательными к  $C_i(\phi)$  и  $C_{i+1}(\phi)$ . Наиболее простая функция в полярных координатах – окружность  $C(\phi) = C$ , кроме того, производная окружности – 0. Строим окружности таким образом, чтобы они касались  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$  в точках  $Z_i$  и  $Z_{i+1}$  и имели бы общий центр (рис. 6), который и будет являться точкой отсчета полярных координат. Для этого построим прямые  $g_i(x)$  и  $g_{i+1}(x)$ , перпендикулярные прямым  $y_i(x)$  и  $y_{i+1}(x)$  в точках  $Z_i$  и  $Z_{i+1}$ :

$$\begin{aligned}
 M_1 &= -\frac{1}{k_1}; & N_1 &= X_{z(i)}(k_1 - M_1) + b_1; \\
 M_2 &= -\frac{1}{k_2}; & N_2 &= X_{z(i+1)}(k_2 - M_2) + b_2; \\
 g_i(x) &= M_1x + N_1; \\
 g_{i+1}(x) &= M_2x + N_2.
 \end{aligned} \tag{17}$$

Определим координаты точки пересечения этих перпендикуляров:

$$X_0 = \frac{N_2 - N_1}{M_1 - M_2}; \quad Y_0 = M_1X_0 + N_1. \tag{18}$$

После нахождения точки отсчета найдем функцию  $Q(\phi)$ , удовлетворяющую следующим условиям:

$$Q(\phi_i) = R_i; Q(\phi_{i+1}) = R_{i+1}; \quad (19)$$

$$Q'(\phi_i) = C_i'(\phi_i) = 0; Q'(\phi_{i+1}) = C_{i+1}'(\phi_{i+1}) = 0.$$

Так как условий – четыре, то в качестве функции  $Q(\phi)$  возьмем полином 3-го порядка:

$$Q(\phi) = a(\phi - \phi_i)^3 + b(\phi - \phi_i)^2 + c(\phi - \phi_i) + d. \quad (20)$$

Его производная

$$Q'(\phi) = 3a(\phi - \phi_i)^2 + 2b(\phi - \phi_i) + c. \quad (21)$$

Записав условия (19) в соответствии с функцией (20), получим

$$d = R_i; c = 0;$$

$$a(\phi_{i+1} - \phi_i)^3 + b(\phi_{i+1} - \phi_i)^2 + c(\phi_{i+1} - \phi_i) + d = R_{i+1}; \quad (22)$$

$$3a(\phi_{i+1} - \phi_i)^2 + 2b(\phi_{i+1} - \phi_i) + c = 0.$$

Решив эту систему относительно  $a, b, c, d$ , определим коэффициенты полинома

$$d = R_i; c = 0;$$

$$b = \frac{3(R_{i+1} - R_i)}{(\phi_{i+1} - \phi_i)^2}; a = -\frac{2(R_{i+1} - R_i)}{(\phi_{i+1} - \phi_i)^3}, \quad (23)$$

где  $R_i = \sqrt{(X_0 - X_{z(i)})^2 + (Y_0 - Y_{z(i)})^2}$ ;  $R_{i+1} = \sqrt{(X_0 - X_{z(i+1)})^2 + (Y_0 - Y_{z(i+1)})^2}$ .

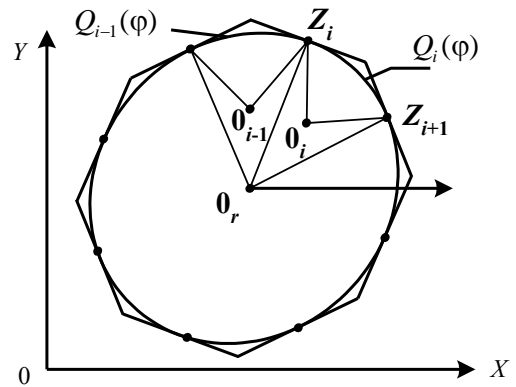
Таким образом, для каждого из участков определим свою функцию  $Q_i(\phi)$  (рис. 6). Эти функции будут плавно переходить друг в друга в узловых точках, так как их первые производные с этих точек совпадают.

В результате этого математическая модель сечения сортимента будет задана следующими данными: координатами центра рамы  $X_c, Y_c$ ; полярным углом узловых точек  $\phi_i$ ; координатами точек отсчета  $0_i$  для каждого  $i$ -го промежутка; коэффициентами  $a_i, b_i, c_i, d_i$  каждого  $i$ -го полинома  $Q_i(\phi)$ .

Решение задачи позволяет определить координаты любой точки на поверхности сечения сортимента.

Определение площади сечения сортимента. Докажем, что площадь фигуры, ограниченной функцией  $f(x)$  на определенном промежутке

Рис. 6. Иллюстрация образования гладкой замкнутой фигуры найденными функциями  $Q(\varphi)$



$[a, b]$ , численно равна среднему арифметическому площадей прямоугольников, ширина которых равна ширине промежутка, а высота – значению функции  $f(x)$  в соответствующих точках промежутка при условии, что количество этих прямоугольников стремится к бесконечности (рис. 7).

Площадь такой фигуры равна значению определенного интеграла, которое, можно вычислить из классической формулы прямоугольников:

$$S = \int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^{n-1} S_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b-a}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f\left(a + i \frac{b-a}{n}\right). \quad (24)$$

Среднее арифметическое площадей больших прямоугольников

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (b-a) f\left(a + i \frac{b-a}{n}\right)}{n}. \quad (25)$$

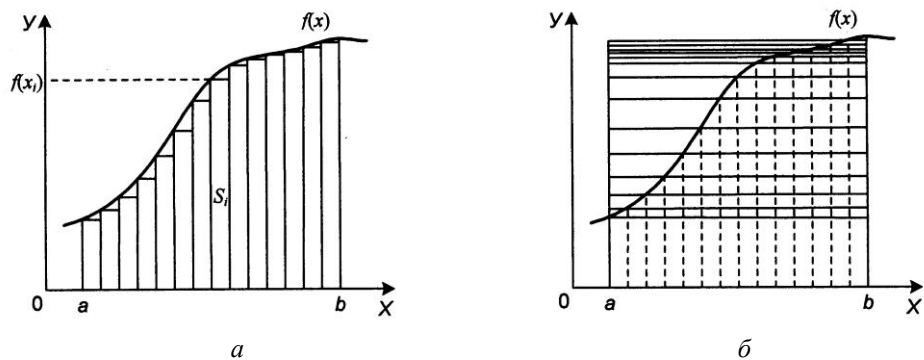
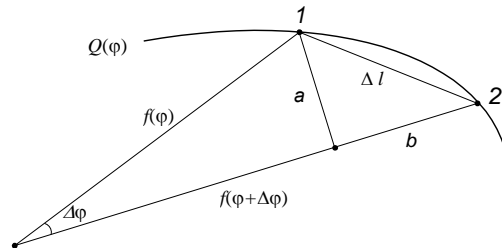


Рис. 7. Вычисление площади фигуры по сумме площадей элементарных прямоугольников (а) и среднему арифметическому площадей больших прямоугольников (б)



Рис. 8. Определение длины элементарной дуги



Перейдя к пределу и преобразовав, получим

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (b-a) f(a + i \frac{b-a}{n})}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b-a}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f(a + i \frac{b-a}{n}) = \int_a^b f(x) dx = S. \quad (26)$$

В полярных координатах формула (24) имеет следующий геометрический смысл: площадь фигуры, образованной замкнутой кривой функции  $Q(\phi)$ , равна среднему арифметическому площадей окружностей, центр которых расположен в начале координат, а радиус равен значениям  $Q(\phi)$  в равномерно расположенных полярных углах на промежутке  $[0, 2\pi]$ :

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \pi Q^2(i \frac{2\pi}{n})}{n}. \quad (27)$$

Определение длины поверхности сечения. Возьмем на поверхности сечения две близко расположенные точки 1 и 2 (рис. 8).

В качестве длины дуги  $\Delta l$  между этими точками примем величину, эквивалентную (при  $\Delta\phi \rightarrow 0$ ) длине хорды, стягивающей точки 1 и 2. Длина хорды

$$\Delta l = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(Q(\phi) \sin \Delta\phi)^2 + (Q(\phi + \Delta\phi) - Q(\phi) \cos \Delta\phi)^2}. \quad (28)$$

Учитывая, что при  $\Delta\phi \rightarrow 0$ ,  $\sin \Delta\phi \rightarrow \Delta\phi$ ,  $\cos \Delta\phi \rightarrow 1$ , определим выражение для дифференциала длины кривой:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta l}{\Delta\phi} &= \sqrt{\left(\frac{Q(\phi) \sin \Delta\phi}{\Delta\phi}\right)^2 + \left(\frac{Q(\phi + \Delta\phi) - Q(\phi) \cos \Delta\phi}{\Delta\phi}\right)^2} = \\ &= \sqrt{Q^2(\phi) + \left(\frac{Q(\phi + \Delta\phi) - Q(\phi)}{\Delta\phi}\right)^2}. \end{aligned} \quad (29)$$

Перейдем к пределу при  $\Delta\phi \rightarrow 0$ :

$$dl = \sqrt{Q^2(\phi) + (Q'(\phi))^2} d\phi. \quad (30)$$

Всю длину кривой определим посредством интегрирования:

$$L = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sqrt{Q^2(\varphi) + (Q'(\varphi))^2} d\varphi. \quad (31)$$

Математическая модель сечения сортимента состоит из совокупности кривых  $Q_i(\varphi)$ , каждая из которых определена на своем промежутке от  $\varphi_i$  до  $\varphi_{i+1}$ . Таким образом, длина поверхности сечения

$$L = \sum_{i=0}^k \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} \sqrt{Q_i^2(\varphi) + (Q_i'(\varphi))^2} d\varphi. \quad (32)$$

Предложенное техническое решение, способ измерений и метод обработки информации могут служить основанием для создания в лесопильной промышленности системы распознавания образов, поскольку позволяют реализовать принципы цифровой записи реальной формы сортиментов.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 10.02.04

*A.E. Alekseev, M.V. Zakharov*

### **Substantiation of Technological Parameters for Circular Form Meter and Assortment Measuring Process**

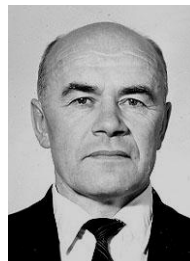
Means of measuring geometrical dimensions of round wood and mathematical apparatus are proposed for processing obtained information; technological requirements to circular form measuring are set forth.



УДК 674.093

**Ю.Ф. Воронцов, А.Д. Голяков**

Воронцов Юрий Филиппович родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Архангельский лесотехнический институт, в 1967 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области технологии лесопильного производства.



Голяков Александр Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных трудов в области механической технологии древесины и изучения показателей механических свойств пилопродукции.

**РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
ЛЕСОПИЛЕНИЯ**

Предложено интенсификацию лесопильного производства проводить путем специализации лесозаводов по сырью.

*Ключевые слова:* лесопильное производство, интенсификация, специализация по группам крупности сырья.

Интенсификация производства позволяет осуществить рост выпуска продукции и улучшение ее качества. Первоочередное внимание должно быть уделено способам ускорения темпов производства, не требующим больших капитальных затрат: устранению брака, простоев, выбору рациональных режимов подготовки инструмента и станков к работе, режимам переработки сырья, улучшению организации труда, полному использованию производственных мощностей.

Цель данной работы обосновать целесообразность специализации лесопильных предприятий по сырью.

Интенсификация может быть выполнена на четырех уровнях.

Первый уровень – интенсификация пиления на действующем оборудовании серийным инструментом, заключающаяся в повышении качества подготовки пил при соблюдении режимов подготовки и использовании средств контроля за ее качеством; повышении качества подготовки станка к работе за счет правильной установки пил и выверки основных узлов и механизмов; правильном выборе основных параметров пил.

На большинстве предприятий распиливают бревна различных диаметров рамными пилами только одного шага зубьев. Несогласование шага с высотой пропила может привести к снижению производительности лесопильной рамы в отдельных случаях до 20 % или значительному ухудшению качества пиломатериалов. Предприятия заказывают пилы одного шага, хотя ГОСТ 5524–75 предусматривает выпуск рамных пил в четырех вариантах шагов.

Рамные и ленточные пилы выходят из строя из-за недостаточной усталостной прочности. Это приводит к простоям оборудования, повышенному расходу инструмента и увеличению трудовых затрат на его подготовку. Вместе с тем только правильное оформление межзубьевых впадин и последующая их полировка с использованием шлифовальной машинки дают повышение прочности пил на 30 ... 40 % [2].

Рамные пилы недостаточно устойчивы. На предприятиях для повышения точности пиления идут на натяжение пил выше нормы, что приводит к поломке пил, захватов, поперечин пильных рамок и применению толстых пил. Последнее, в свою очередь, повышает расход древесины (в виде опилок) и энергозатраты на пиление. Установка межпильных прокладок (в соответствии с высотой пропила) и пил с оптимальным эксцентриситетом линии натяжения позволяет повысить устойчивость пил на 20 ... 30 %.

Первый уровень интенсификации пиления прост, малозатратен и быстро реализуем. Он требует повышения технической культуры на предприятии.

Второй уровень – модернизация действующего лесопильного оборудования. Повышение качества подготовки оборудования и инструмента к работе может дать значительный эффект, но он ограничен.

Лесопильные рамы, находящиеся в эксплуатации, имеют несовершенные направляющие пильной рамки, большую свободную длину пил. Применение новых направляющих для пильной рамки и аэростатических направляющих позволит повысить производительность пиления, качество и выход пиломатериалов на действующих лесопильных рамах. Ленточнопильные станки могут быть модернизированы за счет применения односторонних аэростатических направляющих для пил.

Третий уровень – создание лесопильного оборудования нового поколения. Основные недостатки существующего лесопильного оборудования не могут быть устранены в процессе его модернизации. При создании нового оборудования необходимо рассматривать его во взаимосвязи со всем лесопильным потоком и технологией производства пиломатериалов в целом начиная со склада сырья и кончая складом пиломатериалов. Например, лесопильное оборудование, настраиваемое на распиливаемый материал, несколько снижает производительность лесопильного потока, но упрощает производственный процесс на складе сырья и позволяет увеличить производительность на этом участке в несколько раз.

Следовательно, создаваемое лесопильное оборудование нового поколения должно соответствовать новой технологии.

В странах с развитым лесопилением создаются гибкие автоматизированные технологические линии. В качестве головного станка в таких линиях можно использовать многопильный ленточнопильный станок, состоящий из однопильных модулей, у которого пилы движутся по криволинейным аэростатическим направляющим; в качестве станков второго ряда – короткоходовые быстроходовые лесопильные рамы с пилами, движущимися в аэростатических направляющих.

Четвертый уровень – специализация лесопильных предприятий по сырью, головному оборудованию и продукции.

Производственный процесс состоит из следующих элементов: сырье, техника, технология, организация. Максимальный положительный результат может быть получен только при соответствии этих элементов друг другу.

Технику (лесопильное оборудование), созданную машиностроителями, необходимо использовать на «своем» сырье. ГОСТ 9463–88 предполагает деление круглых лесоматериалов на мелкие (до 14 см), средние (14 ... 24 см) и крупные (более 24 см). В соответствии с ГОСТом на действующих лесопильных заводах применяется следующее головное лесопильное оборудование: фрезернопильные агрегаты, узко-, средне- и широкопросветные лесопильные рамы.

Задача технологов – обеспечить каждый вид головного лесопильного оборудования своим сырьем, т.е. пиловочником только соответствующего диаметра. Предполагается, что для максимального использования головного лесопильного оборудования по производительности и времени необходимо снабжать определенный лесопильный завод своим сырьем в течении всего периода производства пиломатериалов. Учитывая, что на экспортных лесозаводах нескольких потоков, каждый из них должен работать на своем диаметре пиловочного сырья. В связи с этим предприятия делят на группы: I – (12)14 ... 16 см; II – 18 ... 24 см; III – 26 см и более.

При этом резко возрастают объемы партий пиломатериалов одинакового сечения и производительность оборудования, экономятся площади, трудо- и энергозатраты при окончательной обработке пиломатериалов; кардинальным образом сокращается количество вырабатываемых сечений пиломатериалов, что является необходимой и достаточной предпосылкой автоматизации лесопильного производства.

Следовательно, предложенная технология позволяет на базе существующего оборудования лесопильных предприятий решать поставленные задачи интенсификации производства. Проведенные научно-производственные распиловки на экспортных лесопильных предприятиях г. Архангельска дают основание предполагать наступление «революции» в лесопилении [1].

Данная работа посвящена обоснованию целесообразности специализации лесопильных предприятий по сырью. (В рамках каждой группы предприятий соблюдается достижение максимальных величин объемного, цен-

ностного и спецификационного выходов). Кроме того, имеющиеся средства технологии исключают использование пиловочного сырья на ЦБК.

Выполненные расчеты подтверждают целесообразность использования следующей схемы организации технологического процесса производства пиломатериалов (см. таблицу).

Терминал, объединяющий продукцию трех лесозаводов, позволит рационализировать сохранность пиломатериалов и снижать трудозатраты на их обработку (возможность применения комплексной механизации).

При такой технологической схеме повышается техническая культура на всех предприятиях (например, пилы можно готовить в одном месте с соблюдением режимов и использованием средств контроля качества подготовки). При переходе на специализацию лесопильных заводов следует

Лесозавод № 1	Лесозавод № 2	Лесозавод № 3
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подготовка сырья к распиловке и накопление партий запуска в производство (склад сырья диаметром 12 ... 16 см).</li> <li>2. Формирование сечений пиломатериалов (лесопильный цех: ФБС+МКС или РТ; ЛАПБ; 2Р50-1, 2).</li> <li>3. Сортировка сырых пиломатериалов после выпилки и накопление партий запуска для формирования сушильных пакетов или штабелей.</li> <li>4. Транспортировка накопленных партий запуска для формирования сушильных пакетов на лесозавод №2.</li> <li>5. Централизованная подготовка инструмента для трех заводов с соблюдением режимов, использованием средств контроля качества подготовки.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подготовка сырья к распиловке и накопление партий запуска в производство (склад сырья диаметром 18 ... 24 см).</li> <li>2. Формирование сечений пиломатериалов (лесопильный цех: 2Р50-1, 2; 2Р75-1, 2).</li> <li>3. Сортировка сырых пиломатериалов после выпилки и накопление партий запуска для формирования сушильных пакетов или штабелей.</li> <li>4. Формирование сушильных пакетов из сырых пиломатериалов лесозаводов №1, 2, 3.</li> <li>5. Сушка пиломатериалов.</li> <li>6. Окончательная обработка пиломатериалов.</li> <li>7. Накопление готовой продукции пред отгрузкой (склад готовой продукции с комплексной механизацией).</li> <li>8. Отгрузка пиломатериалов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подготовка сырья к распиловке и накопление партий запуска в производство (склад сырья диаметром <math>\geq 26</math> см).</li> <li>2. Формирование сечений пиломатериалов (лесопильный цех 2Р75-1, 2; 2Р100-1, 2)</li> <li>3. Сортировка сырых пиломатериалов после выпилки и накопление партий запуска для формирования сушильных пакетов или штабелей.</li> <li>4. Транспортировка накопленных партий запуска для формирования сушильных пакетов на лесозавод №2.</li> <li>5. Централизация управленческого персонала.</li> </ol>

установить новое оборудование или модернизировать существующее в зависимости от крупности сырья (например, на лесозаводе № 1 головным оборудованием будет линия агрегатной переработки и т.д.), т.е. выполняется второй уровень интенсификации. Резкое сокращение количества сечений пиломатериалов на каждом лесопильном заводе позволит автоматизировать технологические линии с использованием оборудования нового поколения.

На участках производства возможны следующие технико-экономические эффекты.

1. Подготовка сырья к распиловке и накопление партий запуска в производство (склад сырья):

улучшение условий приемки сырья (повышение точности);

снижение потребности в количестве карманов-накопителей сортировочных конвейеров (снижение капитальных затрат и амортизационных отчислений) или, при наличии уже установленного конвейера или сортировочного бассейна) улучшение условий сортировки (повышение дробности и выхода пиломатериалов в лесопильном цехе);

сокращение сроков накопления партий запуска сырья в распиловку и объемов незавершенного производства.

2. Формирование сечений пиломатериалов (лесопильный цех):

повышение производительности лесопильных потоков и всего цеха за счет специализации основного и вспомогательного оборудования;

увеличение объемного выхода пиломатериалов (за счет качества сортировки сырья и специализации участков обрезки досок);

повышение коэффициентов загрузки станков специализированных потоков и сокращение их общего количества.

3. Сортировка сырых пиломатериалов после выпилки и накопление партий запуска для формирования сушильных пакетов или штабелей:

снижение капитальных и амортизационных затрат на сортировочное оборудование в результате уменьшения потребности в карманах-накопителях;

снижение объемов незавершенного производства за счет возможного уменьшения числа сечений пиломатериалов при накоплении партий запуска для ШФМ или ПФМ;

повышение производительности сортировочных устройств за счет уменьшения длины сортировочных линий и вероятности их простоев.

4. Формирование сушильных штабелей и пакетов (здесь и далее без учета централизации окончательной обработки пиломатериалов на терминале):

повышение производительности за счет уменьшения числа переходов с одного сечения на другое (при сохранении общего объема буферного запаса и повышении объемов партий запуска; в случае сохранения объемов партий запуска – при уменьшении общего объема буферного запаса и объема незавершенного производства).

5. Сушка пиломатериалов:

повышение производительности и качества сушки за счет более жесткой специализации сушильных камер на сушку пиломатериалов малой группы сечений (или толщин).

6. Окончательная обработка пиломатериалов (сортировка по качеству, длинам, формирование транспортных пакетов):

уменьшение объема оперативного запаса пиломатериалов перед линией (не более, чем 2-суточная (в выходные дни) производительность сушилок), а при его сохранении – повышение производительности браковочно-сортировочно-пакетирующих линий;

уменьшение капитальных и амортизационных затрат за счет возможного снижения потребности в карманах-накопителях;

повышение выхода кондиционных транспортных пакетов (одной длины) и отпускной цены пиломатериалов;

повышение качества сортировки (снижение пересортицы и, соответственно, количества рекламаций) за счет специализации браковщиков на ограниченное число сечений пиломатериалов.

7. Накопление готовой продукции перед отгрузкой (склад готовой продукции) и отгрузка:

уменьшение запасов незавершенного производства;

повышение производительности и снижение продолжительности стоянки судов при погрузке продукции;

повышение коэффициента использования емкости судов и их грузо-подъемности; уменьшение процента некондиционных пакетов (с разной длиной досок);

ликвидация перестановки судов из-за нехватки специфицированных пиломатериалов.

Результаты специализации :

1. Повышение производительности и качества работ на всех участках производства пиломатериалов.

2. Снижение объемов незавершенного производства – повышение оборачиваемости капиталов.

3. Повышение доли кондиционных транспортных пакетов и цены товарных пиломатериалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов Ю.Ф.* Эффективность специализации лесопильных предприятий по группам диаметров пиловочного сырья / Ю.Ф. Воронцов, Л.С. Суровцева // Лесн. журн., 2002. – № 5 – С. 89–93. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Прокофьев Г.Ф.* Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть. 1990. – 240 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 19.06.03



---

*Yu.F. Vorontsov, A. D. Golyakov*

**Resource-saving Technology of Wood Sawing**

It was proposed to realize the intensification of sawing production through specialization of sawmills according to raw material.

---

УДК 674.093

*Л.В. Алексеева*

Алексеева Людмила Васильевна родилась в 1960 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 научных трудов в области лесопиления.



### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛЫХ ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ**

Предложено проектное решение для организации участка лесопиления на базе однопильных ленточнопильных станков; в основу положены принципы позиционно-проходного метода реализации технологического процесса.

*Ключевые слова:* проектирование, участок лесопиления, ленточнопильный станок.

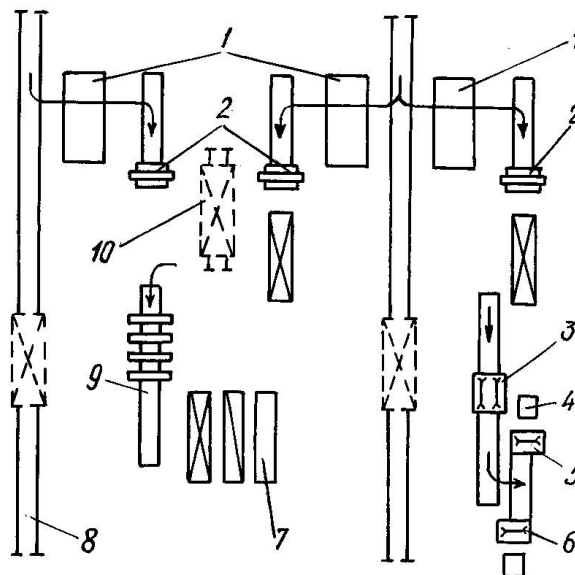
Увеличение непрерывности производственного процесса на малых лесопильных предприятиях связано с повышением производительности участков по выпуску пиломатериалов на базе ленточнопильных станков.

В основу разработанного нами проектного решения организации лесопильного производства грузового района Лимендского речного порта (г. Котлас, ОАО «Северное речное пароходство») положены принципы позиционно-проходного метода. Структурно-технологическая схема участка лесопиления на базе трех головных однопильных ленточнопильных станков (ЛПС) «Гравитон» КЛГ-05 и многоленточного конвейера «Гравитон» МЛК приведена на рисунке.

Приемку бревен осуществляют согласно действующим нормативным документам при геометрическом обмере сырья в вагонах, на баржах или автомобилях с выборочным контролем партий круглых лесоматериалов путем раскатки. Площадка для такой оценки пиломатериалов должна вмещать до 10 % поставленного сырья, подвергаемого количественной и качественной проверке. При организации участка раскатки возможна выборочная или 100 %-я приемка отдельных партий поставляемого сырья.

Бревна разгружают при помощи башенного или автомобильного крана в соответствии с временными нормами оборота подвижного состава и объемами поставленного сырья.

На складе несортированного сырья вместимостью 3 тыс. м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов и площадью 900 м<sup>2</sup> формируют три штабеля елового и соснового пиловочника. Объем каждого штабеля 1 тыс. м<sup>3</sup>, высота штабеля 4 м, длина 40 м, ширина 6 м (средняя длина бревна). Операционный запас сырья составляет 40 м<sup>3</sup> на каждый поток, что соответствует 2-сменному



Структурно-технологическая схема производства пиломатериалов: 1 – накопитель бревен; 2 – ЛПС «Гравитон» КЛГ-05; 3 – многоленточный конвейер МЛК; 4 – обрезной станок Ц2-200; 5 – станок торцовочный ЦТМ-20; 6 – станок торцовочный ЦКБ-40; 7 – бункер для отходов; 8 – рельсовый путь; 9 – подстопное место; 10 – тележка-накопитель

запасу и максимальной производительности каждого из трех ленточнопильных станков. Штабеля формируют при помощи крана или автопогрузчика ЛТ-162 с челюстным захватом пачки бревен.

Сырье в цех поступает на тележках, установленных на двух рельсовых путях. Неокоренные бревна поштучно подают на эстакаду. Бревна по мере поступления сбрасывают на накопитель. Длина каждого накопителя 2,5 м, емкость до 10 бревен (объем около 2 м<sup>3</sup>). Каждый станок оборудован дебаркером. Обрезные торцованные до стандартных ширины и длины пиломатериалы производят по двухстадийной технологии: на первом этапе на базе трех головных ленточнопильных станков КЛГ-05, установленных по одному на каждом лесопильном потоке, формируют четырехкантный брус; на втором этапе, выполняемом на базе конвейера МЛК, полученные при первом проходе брусья распиливают на пиломатериалы.

Бревна на первом проходе распиливают в горизонтальной плоскости по направляющим ленточной пилы при неподвижном расположении обрабатываемого материала. Ленточнопильные станки предназначены для очередного после кантования бревна на 90 ° отделения горбыля до получения четырехкантного бруса. При широком спектре диаметров перерабаты-

ваемых бревен их формируют на складе сырья, а затем подают в лесопильный цех. Головной станок первого потока перерабатывает маломерные бревна, объем которых в общем составе при известном распределении размерных характеристик пиловочника может достигать 70 %. Второй и третий потоки предназначены для бревен средних и крупных диаметров. При этом на головном ленточнопильном станке первого потока возможно формирование четырехкантных брусьев и горбыля, на втором и третьем – обзолных четырехкантных брусьев. Горбыли укладывают в пакет на колодки, брусья – на тележку, установленную на рельсовом пути. Ход тележки позволяет перекрывать зону накопления пакетов брусьев и подачи их на конвейер МЛК. Перемещение брусьев и их подачу на приемный участок лесопильной установки второго ряда можно осуществлять также с помощью тельфера или кран-балки.

Участок формирования поперечных сечений пиломатериалов (второй поток) включает следующее оборудование: приемный неприводной роликовый конвейер, предназначенный для подачи брусьев в зону распиловки; четырехленточный конвейер «Гравитон» МЛК; выносной неприводной роликовый конвейер для удаления пакета сформированных досок с участка формирования (приемный и выносной неприводные роликовые конвейеры собственного изготовления). Четырехленточный конвейер МЛК включает четыре стационарно установленных пильных узла. С учетом специфики исполнения установки формирование постова должно соответствовать размерам получаемых брусьев и их виду (четырекантный или обзолный четырехкантный). Для брусьев, выпиленных из бревен малых диаметров на первом потоке, при количественном составе 5-6 досок может быть применена развальная схема раскроя на доски одной толщины или разной толщины, но меньшего количества. При раскрое четырехкантных обзолных брусьев, выпиленных на втором и третьем потоках из бревен средних и крупных диаметров, может быть преимущественно использована схема раскроя на доски разных толщин (толстые и тонкие). Тонкие доски могут быть и необрезными, но при этом их количество уменьшается в 1,75 раза. С целью снижения трудозатрат при перевалке пиломатериалов необходимо укладывать по следующему варианту: толстые – с выносного неприводного роликового конвейера на тележку, установленную на втором рельсовом пути; тонкие обрезные и необрезные – раздельно в разные пакеты со стороны первого рельсового пути. По мере накопления пакетов готовых пиломатериалов полной длины, не требующих дообработки, пакеты на тележках транспортируют к местам их складирования или формирования материалов на сушку. Тонкие пиломатериалы, требующие обрезки, с места накопления подают на обрезку и предварительную торцовку.

Укладку досок на стол обрезающего станка производят вручную поочередно. После формирования заданной ширины доски поступают на позади-станочный рольганг обрезающего станка Ц2-200. Торцовщики при помощи крючков укладывают тонкие доски на стол торцовочного участка, рейки также вручную удаляют на подстопное место, где находятся горбыли. Тор-

цовочный участок оборудован столом и двумя станками ЦКБ-40 с нижней подачей пилы и ЦТМ-20 с верхним расположением пилы. Торцовка предварительная с целью обрезки шилохвостых концов досок. По длине участка с двух сторон устанавливаются накопители для отрезков досок. Тонкие обрезные доски укладывают в пакеты непосредственно у участка торцовки.

Для повышения эффективности обработки партий пиломатериалов могут быть продлены рельсовые пути первого и второго потоков или установлены тельферы или кран-балки, что позволит оперативно перемещать пакеты на свободные или установленные места.

Разборку пакетов пиломатериалов производят на свободных площадях цеха, к которым пакеты транспортируют вилочным погрузчиком.

Применение способов с получением при первом проходе (а также для организации производства на базе одного станка) брусьев-полуфабрикатов позволяет работать в непрерывном режиме, повышает производственную мощность лесопильного потока на 20 %. Указанное отмечено при накоплении 40 м<sup>3</sup> таких брусьев.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании малых лесопильных предприятий.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 04.12.03

*L. V. Alexeeva*

### **Designing Small Sawmills Based on Band Saw Machines**

The design solution for organizing wood sawing area based on single-saw band saw machines has been offered; principles of position-feedthrough method of realizing technological process are laid as a basis.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 547:541.124

*А.Я. Киповский, В.Н. Пиалкин, И.И. Белоусов, С.А. Прокопьев***РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ  
ПРИ УЛЬТРАПИРОЛИЗЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

На основе экспериментальных данных ультрапиролиза древесины показано определяющее влияние скорости нагрева на выход угля и перераспределение получаемых жидких и газообразных продуктов в зависимости от времени пребывания парогазов в реакционной зоне.

*Ключевые слова:* древесина, пиролиз, факторы, температура, время, уголь, смола, газы, уравнения, критерий жесткости.

Одно из возможных направлений утилизации древесных отходов – производство жидкого топлива методами пиролиза, газификации и термохимической конверсии [5, 7, 9, 13]. Большинство исследователей считают, что пиролитические методы получения «синтетической нефти» являются наиболее перспективными ввиду относительно простого аппаратного оформления процесса и в отсутствие жестких требований к породному и фракционному составу сырья.

Энергоемкость древесной пирогенной смолы как котельного топлива обычно составляет 25 ... 27 МДж/кг с выходом до 14 % от абс. сухой органической части древесного сырья при использовании традиционных технологий. Для увеличения выхода жидкого топлива разрабатываются новые методы пиролиза по двум направлениям: непосредственное одностадийное получение жидкого топлива [4, 10, 14, 15] и пиролиз [8, 11, 12] с целевым получением синтез-газа для последующей каталитической переработки последнего в метанол или углеводороды по технологии Фишера – Тропша.

Как показывают ранее опубликованные данные по определению «оптимальной» температуры пиролиза и парофазному пиролизу древесно-смоляных масел [1–3, 6], выход и качество конечных продуктов определяются условиями проведения процесса и в основном зависят от таких параметров, как скорость и температура пиролиза, а также от продолжительности пребывания образовавшихся парогазов в реакционной зоне.

Для уточнения роли температурно-временных факторов и их взаимосвязи в данной работе проведены серии опытов пиролиза березовой древесины с изменением конечной температуры реакционной зоны  $T_{p,z}$  (500,

600 и 700 °С) и скорости нагрева  $q$  (1 ... 180 °С/мин); а также осуществлен эксперимент при максимальных значениях  $q$  (метод теплового удара) в интервале температур 500 ... 1000 °С и продолжительности пребывания парогазов пиролиза в реакционной зоне  $\tau_{п.г} = 0,01 \dots 23,80$  с.

Результаты первой и второй серий опытов отражены в виде выхода (% от абс.-сухой древесины) твердой (уголь)  $U_y$ , жидкой (конденсат)  $U_k$  и газовой (неконденсирующиеся газы)  $U_g$  фаз. Для более подробной характеристики изучаемого процесса в каждом опыте дополнительно определяли выход суммарной смолы  $U_{см}$ , эфирорастворимых веществ  $U_{эф}$ , суммарных фенолов  $U_{с.ф}$ , карбоновых кислот  $U_{к.к}$ , нейтральных веществ  $U_{н.в}$ . Полученные экспериментальные данные приведены в табл.1, 2 ( $\tau_{пир}$  – общая продолжительность пиролиза).

Таблица 1

Влияние  $T_{p.з}$  и  $q$  на выход (% от абс. сухой древесины) продуктов пиролиза

$q$ , °С/мин	$U_y$	$U_k$	$U_g$	$U_{см}$	$U_{эф}$	$U_{с.ф}$	$U_{к.к}$	$U_{н.в}$
$T_{p.з} = 500$ °С								
1	29,4	51,6	19,0	17,1	11,8	5,6	4,8	1,3
5	27,2	53,2	19,6	18,5	13,1	6,1	5,3	1,7
15	25,0	54,8	20,2	19,8	13,3	6,0	5,2	2,1
30	23,6	56,2	20,2	21,2	13,9	6,3	5,5	2,1
60	22,5	59,4	18,1	23,0	14,8	7,0	6,2	1,6
90	21,3	61,0	17,7	23,8	15,4	7,3	6,4	1,7
120	20,8	60,7	18,5	24,2	15,6	7,5	6,3	1,8
180	20,1	60,6	19,3	24,4	16,8	7,7	7,2	1,9
$T_{p.з} = 600$ °С								
1	23,6	52,3	24,1	16,6	13,3	6,4	5,1	1,8
5	21,9	52,8	25,3	17,3	13,9	6,6	5,3	2,0
15	19,5	54,9	25,6	18,1	15,2	6,9	6,1	2,2
30	18,3	56,8	24,9	18,4	16,2	7,3	6,8	2,1
60	17,4	58,3	24,3	20,2	15,8	7,6	6,3	1,8
90	17,2	59,1	23,7	20,7	15,7	7,9	6,1	1,7
120	16,8	58,8	24,4	20,8	15,9	7,7	6,3	1,8
180	16,6	57,9	25,5	20,4	16,0	7,6	6,3	2,1
$T_{p.з} = 700$ °С								
1	21,8	52,8	25,4	14,9	12,8	5,8	4,8	2,2
5	19,5	54,8	25,7	15,5	13,9	5,9	4,7	2,4
15	18,7	55,1	26,2	15,1	13,9	6,1	5,3	2,5
30	16,5	57,2	26,3	16,1	14,4	6,5	5,7	2,6
60	16,2	57,8	26,0	17,4	14,5	6,8	5,4	2,3
90	15,7	58,7	25,6	18,0	15,3	7,0	6,1	2,2
120	15,9	58,3	25,8	17,9	15,7	7,2	6,1	2,4
180	16,1	56,8	27,1	17,8	15,9	6,9	6,2	2,8

Таблица 2

Влияние  $T_{p.з}$  и  $\tau_{п.г}$  на выход (% от абс. сухой древесины) продуктов пиролиза

$\tau_{п.г}$ , с	$U_y$	$U_k$	$U_r$	$U_{см}$	$U_{эф}$	$U_{с.ф}$	$U_{к.к}$	$U_{н.в}$
$T_{p.з} = 500 \text{ }^\circ\text{C}; \tau_{пир} = 465 \text{ с}; q = 135 \text{ }^\circ\text{C/мин}$								
23,80	20,1	60,5	19,4	24,4	16,7	7,7	7,2	1,9
10,10	20,4	60,9	18,7	25,2	17,6	8,0	7,4	2,1
7,90	20,5	61,8	17,7	25,8	18,5	8,2	8,1	2,2
5,10	20,5	62,8	16,7	26,6	19,7	9,2	9,1	2,7
4,40	20,7	62,7	16,6	27,4	21,0	9,3	9,1	2,7
$T_{p.з} = 600 \text{ }^\circ\text{C}; \tau_{пир} = 315 \text{ с}; q = 150 \text{ }^\circ\text{C/мин}$								
а) периодический пиролиз								
4,00	17,4	59,7	22,9	24,0	17,1	8,2	6,7	2,1
2,80	17,5	60,1	22,4	24,7	16,1	8,3	5,4	2,4
2,10	17,1	62,1	20,8	25,8	18,2	8,6	7,0	2,6
1,60	17,1	63,4	19,5	26,5	20,6	10,6	7,4	2,6
б) непрерывный пиролиз								
1,30	16,4	64,1	19,5	29,2	–	10,9	–	2,5
0,70	16,3	67,1	16,6	30,7	–	11,6	–	2,4
0,40	15,5	68,8	15,7	31,1	–	11,7	–	2,5
0,30	16,4	70,8	12,8	31,9	–	12,2	–	2,1
$T_{p.з} = 700 \text{ }^\circ\text{C}; \tau_{пир} = 240 \text{ с}; q = 180 \text{ }^\circ\text{C/мин}$								
3,10	16,1	56,8	27,1	17,9	15,6	6,9	5,8	2,8
2,00	16,2	57,3	26,5	18,6	16,5	7,3	6,2	3,0
1,30	16,0	63,3	20,7	22,0	20,0	8,5	7,4	4,1
0,90	16,3	63,7	20,0	23,5	22,2	9,5	8,1	4,7
0,80	16,2	64,4	19,4	24,1	22,6	9,6	8,3	4,7
$T_{p.з} = 800 \text{ }^\circ\text{C}; \tau_{пир} = 150 \text{ с}; q = 320 \text{ }^\circ\text{C/мин}$								
0,80	15,5	46,7	37,8	13,1	11,1	5,2	3,2	2,8
0,40	15,8	48,7	35,5	14,0	13,1	5,7	4,2	3,2
0,30	15,8	57,8	26,4	16,4	16,2	7,4	5,2	3,6
0,20	16,0	58,7	25,3	18,2	17,0	7,9	5,5	3,7
0,10	15,8	59,1	25,1	18,6	17,8	8,1	6,0	3,7
$T_{p.з} = 900 \text{ }^\circ\text{C}; \tau_{пир} = 126 \text{ с}; q = 456 \text{ }^\circ\text{C/мин}$								
0,24	14,6	36,4	49,0	9,1	8,2	3,2	2,9	2,2
0,12	14,6	40,4	45,0	10,1	9,4	3,8	3,1	2,5
0,09	14,9	52,9	32,2	13,3	10,8	4,7	3,5	2,6
0,05	14,5	54,9	30,6	13,8	11,4	5,1	3,6	2,7
0,03	15,0	55,9	29,1	14,0	12,0	5,1	4,1	2,8
$T_{p.з} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}; \tau_{пир} = 97 \text{ с}; q = 600 \text{ }^\circ\text{C/мин}$								
0,07	13,8	29,0	57,2	5,5	4,8	2,0	1,7	1,2
0,05	13,7	29,2	57,1	5,8	5,2	2,1	1,8	1,2
0,03	13,7	29,2	57,1	5,8	5,1	2,0	1,8	1,3
0,02	13,7	41,0	45,3	9,5	5,9	2,6	1,9	1,4
0,01	13,6	56,3	30,1	14,0	11,3	5,0	2,2	2,2



При выявлении роли температурно-временных факторов в процессе пиролиза были приняты следующие допущения:

1. Выход продуктов пиролиза  $u$  является функцией двух переменных – скорости нагрева  $q$  и температуры  $T_{p,3}$ :

$$u = f(q, T).$$

2. Если фиксировать одну из переменных, то выход каждого компонента подчиняется закономерностям, близким к параболическим:

$$u(q; T_0) = aq^2 + bq + c; \quad u(q_0; T) = mT^2 + k.$$

3. При обработке полученных данных методом наименьших квадратов каждый из параметров функций  $u(q; T_0)$  и  $u(q_0; T)$  может быть определен с помощью статистических моментов:

$$\begin{aligned} a_4^* &= \left( \sum_{i=1}^n q_i^4 \right) / n; & a_{0,1}^* &= \left( \sum_{i=1}^n u_i \right) / n; \\ a_3^* &= \left( \sum_{i=1}^n q_i^3 \right) / n; & a_{1,1}^* &= \left( \sum_{i=1}^n u_i q_i \right) / n; \\ a_2^* &= \left( \sum_{i=1}^n q_i^2 \right) / n; & a_{1,2}^* &= \left( \sum_{i=1}^n u_i w_i^2 \right) / n, \\ a_1^* &= \left( \sum_{i=1}^n q_i \right) / n; \end{aligned}$$

где  $a_n^*$  – статистический момент  $n$ -го порядка;

$a_{n,m}^*$  – смешанный статистический момент  $n + m$ -го порядка.

В этом случае параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  – функции  $u(q, T_0)$  определяются как корни системы уравнений

$$a_4^* a + a_3^* b + a_2^* c = a_{1,2}^*;$$

$$a_3^* a + a_2^* b + a_1^* c = a_{1,1}^*;$$

$$a_2^* a + a_1^* b + c = a_{0,1}^*.$$

Аналогично определяют и параметры функции  $u(q_0, T)$  как функции температуры. Целесообразно рассматривать параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  отдельно:

$$a = f(T); \quad b = f(T); \quad c = f(T).$$

В результате решения системы получено наложение параболических функций. Следовательно, для определения выхода каждого компонента пиролиза может быть использована формула

$$u(q, T) = qT(a_1 qT + b_1 q + a_2 T + b_2) + q(c_1 q + c_2) + T(a_3 T + b_3) + c_3,$$

представляющая некоторую поверхность четвертого порядка.

На основании экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты  $a_i$ ,  $b_i$  и  $c_i$  (табл. 3).

Таблица 3

Расчетные коэффициенты  $a_i, b_i, c_i$ 

Коэффициенты	Значения коэффициентов в формулах для определения		
	$U_v$	$U_k$	$U_{cm}$
$a_1$	-0,0000527	+0,0000002	-0,0000530
$a_2$	-0,0001600	+0,0010650	+0,0014830
$a_3$	+0,0191010	-0,0032000	-0,0059500
$b_1$	+0,0004777	+0,0002420	+0,0008340
$b_2$	+0,0044700	-0,0179550	-0,0216950
$b_3$	-0,2682370	+0,0511500	+0,0579500
$c_1$	-0,0004400	-0,0023000	+0,0034320
$c_2$	-0,3235000	+0,0829500	+0,0844114
$c_3$	+1,1449000	+0,3369000	+0,0345000

Выход неконденсирующихся газов на первом этапе можно рассматривать как функцию только температуры, так как изменение  $q$  (по опытным данным) оказывает незначительное влияние:

$$U_i(T) = -0,022T^2 + 0,2984T - 0,7505.$$

Если при изменении скорости нагрева газовая фаза ведет себя стабильно и скорость фактически зависит от температуры, то аналогичное постоянство отмечено и для твердой фазы при изменении продолжительности пребывания парогазов в реакционной зоне. Поэтому, рассматривая выход угля при максимальной скорости нагрева (тепловой удар) как функцию, зависящую только от температуры реакционной зоны, и применяя метод наименьших квадратов, получаем

$$U_v(T) = 0,0023T^2 - 0,0223T + 0,3604.$$

Выход конденсата и газа при тепловом ударе представляет из себя функцию  $T$  и  $\tau_{п.г.}$ :

$$U_k = h_1(T, \tau_{п.г.}); \quad U_g = h_2(T, \tau_{п.г.}).$$

Анализ этих функций показал, что характер их изменения при различных температурах реакционной зоны отличается. Так, в интервале 500 ... 600 °С кривые выхода имеют пологую форму с широким интервалом  $\tau_{п.г.}$ . При повышении температуры реакционной зоны более 700 °С кривые выхода меняют форму с постепенным уменьшением оптимального интервала  $\tau_{п.г.}$ , т.е. увеличивается их крутизна.

Предположим, что с помощью интегральной функции нормального распределения можно описать суммарный выход газовой фазы при пиролизе:

$$\Phi(Z) = [1/\sigma\sqrt{2\pi}] \int_{-\infty}^Z \exp(-(x-a)^2/2\sigma^2) dx.$$

В пользу данной гипотезы говорит  $\tau_{п.г}$  – аналог влияния параметра  $T$  на положение кривой выхода газов с параметрами нормального распределения. Так, изменение  $\tau_{п.г}$  приводит к смещению вдоль оси, т.е.  $\tau_{пер}$  – аналог параметра  $\sigma$  нормального распределения. Изменение же параметра  $T$  влияет на крутизну кривой, т.е.  $T_{р.з}$  – аналог параметра  $s$ .

Взяв за основу функцию  $\Phi(Z)$ , мы провели обследование области возможного расположения точки перегиба в зависимости от температуры:  $\tau_{п.г} = ae^{-f(T)}$  (где  $a$  – постоянная продолжительности пребывания  $\tau_{пер}$ ).

Приняв, что функция  $f(T)$  линейна относительно  $T$ , нашли значения параметров. Точка перегиба интегральной кривой выхода газообразных продуктов может быть найдена по формуле  $\tau_{пер} = 1,45 e^{-1,315(T-7)}$ .

Теперь, зная, что  $\tau_{пер}$  можно определить для заданной температуры реакционной зоны, и полагая, что  $a = \tau_{пер}$ , учтем некоторое отличие кривой выхода газообразных продуктов от интегральной кривой нормального распределения. Это отличие заключается в области изменения каждой из этих функций.

Так, если функция  $\Phi(Z)$  имеет область изменения  $0 \leq \Phi(Z) \leq 1$ ; то для функции  $U_r$  имеем:  $0 + A \leq U_r \leq 1 - A$ , где  $A$  – постоянная, которую необходимо определить. Так как функция  $U_r$  имеет несколько меньшую область изменения, заменим  $\tau - \tau_{пер} / S = \tau$  и функцию  $\Phi(Z)$  приведем к обычному виду:

$$\Phi(Z) = [1 / \sigma \sqrt{2\pi}] \int_{-\infty}^Z \exp(-t^2/2) dx.$$

Значения  $\Phi(Z)$  приведены в справочниках, а параметр  $\sigma$  с допустимой для практики точностью определяется по формуле  $\sigma = 0,08 \cdot 5^{(10-T)}$ .

Расчет выхода газовой фазы можно производить на основании табличных данных по формуле  $U_r = \Phi(Z) - A$ .

Параметр  $A$  в зависимости от температуры реакционной зоны (по экспериментальным данным) имеет следующие значения:

$T_{р.з}$	500	600	700	800	900	1000
$A$	0,305	0,275	0,275	0,215	0,150	0,150

При определении выхода суммарной пирогенной смолы применен аналогичный метод, для которого получена следующая формула:

$$U_{см} = \Phi(Z) - B.$$

Параметр  $B$  находится из уравнения  $B = 0,1723T^2 - 1,812T + 7,0357$ , параметр  $\sigma$  – из выражения  $\sigma = 5 \cdot 10^{(8-T)}$ .

Обобщая результаты исследования температурно-временных факторов пиролиза древесины, отмечаем следующее:

закономерности пиролиза могут быть описаны функцией двух переменных и близки по форме к интегральной кривой функции нормального распределения;

метод позволяет определять значения параметров  $A$  и  $\sigma$  скоростного пиролиза древесины;

полученные расчетные данные указывают на наличие в исследуемых интервалах температурно-временных факторов безразмерного критерия  $K_{ж}$  (критерий жесткости), который устанавливает соотношение между выходами жидкой и газообразной фаз в процессе пиролиза; его роль проявляется при повышенных температурах; его следует рассматривать как функцию двух переменных:  $K_{ж} = U_{см} / U_{г} = aT/qr$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кислицин А.Н.* Изменение состава древесно-смоляных масел при парофазном пиролизе / А.Н. Кислицин, Н.Л. Гусарская, ИЛ. Райская // ГЛХП. – 1963. – № 8. – С. 9–11.
2. *Корчунов Ю.Л.* О кинетике термического распада древесины / Ю.Л. Корчунов, А.А. Ливеровский, Э.И. Шмулевская // ГЛХП. – 1968. – № 4. – С. 3–12.
3. *Ливеровский А.А.* Коптильные жидкости из древесных пиролизатов / А.А. Ливеровский и др. // ГЛХП. – 1967. – № 6. – С. 18–24.
4. *Пилякин В.Н.* Интенсификация процесса пиролиза измельченной древесины при повышенной температуре / В.Н. Пилякин, В.М. Зайцев, В.В. Атрошко // Лесохимия и подсочка. – 1975. – № 10. – С. 13–14.
5. *Терентьев Г.А.* Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г.А. Терентьев, В.М. Тюков. – М.: Химия. 1989. – 240 с.
6. *Уваров И.П.* Парофазный пиролиз фенолов и масел / И.П. Уваров, П.В. Гордон // ГЛХП. – 1961. – № 1. – С. 12–14.
7. *Bridgwater A.* Production costs of liquid fuel from biomass: Adv. Transp. Fuels EC Conf., Palermo Oct., 1990 / A. Bridgwater A., J. Double // Int. J. Energy Res. – 1994. – Vol. 18, N 2. – P. 79–95.
8. *Corte P.* High-temperature gasification of carbonaceous materials by flash pyrolysis / P. Corte et al. // Fuel. – 1987. – Vol. 66, N. 8. – P. 2107–2114.
9. *Czenez M.* Noveayi basison eloallitoh uzemanyagok / M. Czenez // Musz. Gard. Mag. – 1991. – N.3. – P. 1427–1462.
10. *Fussey D.* Переработка древесины и коры в топливо / D. Fussey, B. Ro-kech // Sol. Word Forum Prac. Int. Sol. Energy Soc. Congr., Brighton, 23-25 Avg. 1981. – Oxford, 1982. – Vol. 2. – P. 1268–1272.
11. *Katiguine S.* Production of hydrocarbons from Aspen Poplar pyrolytic oils over H-ZSM 5/P / S. Katiguine, J. Grandmaison, A. Mahay // Appl. Catal. – 1984. – Vol. 10, N 3. – P. 317–332.
12. *Mok L.* Fast pyrolysis (ultrapyrolysis) of cellulose and wood components / L. Mok, R. Graham, B. Freel // J. Anal. and Appl. Pyrol. – 1985. – Vol. 8. – P. 391–400.
13. *Rindt J.* North Dakota Equefection hits \$ 20 barrel range / J. Rindt // Coal and Synfuel Technology. – 1994. – N.15. – P. 1–8.
14. *Roy C.* Production of liquids from biomass by vacuum pyrolysis. – Development of data base for continuous process / C. Roy et al. // Energy Biomass and Wastes. – Chicago, 1983. – Vol. 7. – P. 1 147–1167.
15. *Scott D.* The continuous flash pyrolysis of biomass / D. Scott, J. Piskorz // Can. J. Chem. Eng. – 1984. – Vol. 62, N 3. – P. 404–412.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 26.03.04

---

*A.J. Kipovsky, V.N. Pialkin, I.I. Belousov, S.A. Prokopjev*  
**Role of Temperature and Time Factors at Ultrapyrolysis  
of Wood-raw Material**

The defining influence of heating rate on coal yield and redistribution of obtained liquid and gaseous products depending on time of vapor gases presence in the reaction zone is shown based on the experimental data of wood ultrapyrolysis.

---

УДК 674.031.632.13

***Л.И. Селянина***

Селянина Лира Ильинична родилась в 1939 г., окончила в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесохимических производств. Имеет 35 научных трудов в области исследования и интенсификации процессов и аппаратов лесохимических и гидролизных производств.



### **ВЫДЕЛЕНИЕ БЕТУЛИНА ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕЗЫ ЭКСТРАКЦИЕЙ СПИРТОМ**

Разработаны основные технологические параметры экстракции спиртом бетулина из отходов переработки березы.

*Ключевые слова:* бетулин, береста, экстракция, этиловый спирт.

На крупных целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих предприятиях в результате окорки скапливается большое количество бересты. Содержание бетулина (тритерпеновый спирт) в ней составляет от 10 до 40 % в зависимости от вида, места и условий произрастания, возраста дерева. Доступность и биологическая активность бетулина ставит его в ряд ценных природных соединений, поэтому является актуальной разработка метода его извлечения, отличающегося простотой технологического осуществления.

Известно извлечение бетулина спирто-щелочной экстракцией. Недостатком его является сложность технологического процесса.

Было решено изучить экстракцию бетулина из бересты спиртом, исключив щелочной реагент. Блок-схема спиртовой экстракции приведена на рис. 1.

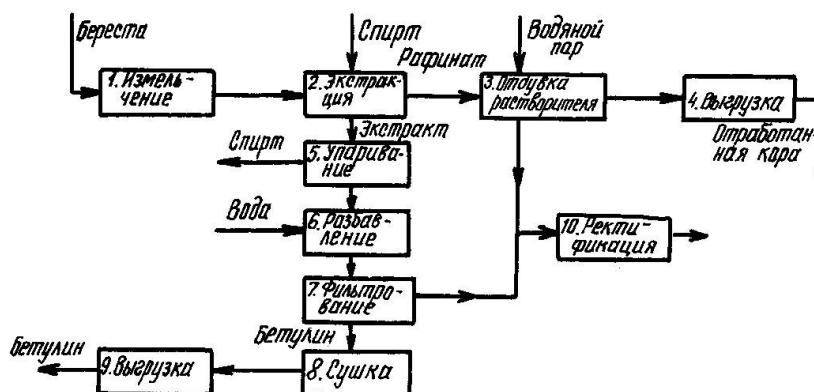


Рис. 1. Блок-схема экстракции этиловым спиртом

Для выбора оптимальной концентрации растворителя была изучена растворимость бетулина в растворах спирта разных концентраций и при температуре 8, 20, 40, 60 °С и кипения. Результаты приведены в табл. 1.

При концентрациях спирта 95 и 86 % растворимость бетулина примерно одинакова, при меньших – резко снижается. С повышением температуры с 8 °С до температуры кипения растворимость возрастает в 2,5–3,5 раза в зависимости от концентрации. Температура кипения используемых растворов спирта изменяется в пределах 78 ... 80 °С, т.е. отличается незначительно и не должна оказывать заметного влияния на результат. Очевидно, что процесс следует проводить при температуре кипения растворителя.

Было исследовано влияние размера частиц на коэффициент извлечения (табл. 2). Для этой цели использовали фракции бересты размером 10,0; 5,5 и 3,0 мм. Для сравнения использовали образец бересты, измельченной в

Таблица 1

Концентрация этилового спирта, %	Растворимость бетулина при температуре, °С				
	8	20	40	60	кипения
95	2,12	1,77	3,59	3,09	5,15
86	1,86	2,43	2,82	3,97	5,35
80	1,11	1,38	1,76	2,74	3,55
70	0,59	0,92	1,15	1,60	2,14
60	0,25	0,30	0,48	0,81	1,80

Таблица 2

Порядковый номер опыта	Выход бетулина, % от массы абс. сухой бересты			
	для фракций размером, мм			измельченной на шнековом аппарате
	10,0	5,5	3,0	
1	18,1	17,9	23,9	23,5
2	18,6	18,9	21,6	24,9
Среднее	18,4	18,4	22,8	24,2



шнековом аппарате. Наибольший выход (около 30 %) бетулина можно получить из фракций размером 3 мм и менее. При больших размерах (5 ... 10 мм) выход бетулина примерно одинаков и составляет 18,4 %.

Измельчение бересты с помощью шнека позволяет повысить выход бетулина на 1,4 %, но приводит к значительному увеличению расхода электроэнергии и усложнению технологического процесса, так как образуется много мелких частиц, засоряющих трубопроводы и оборудование.

Влияние соотношения расхода масс растворителя и твердой фазы (жидкостный модуль) неоднозначно, оно определяет вклад процессов растворения и внутренней диффузии на общую скорость извлечения. На рис. 2 приведены результаты экстракции четырех проб бересты 86 %-м спиртом.

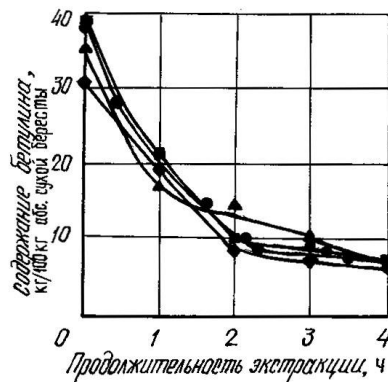
Пробы экстракта отбирали через определенные промежутки времени и рассчитывали количество извлеченного бетулина и его выход. Продолжительность стадии настаивания во всех случаях 30 мин. Для экстракции использовали фракцию бересты размером 3 мм. Опыты отличались величиной жидкостного модуля, который рассчитывали как отношение массы растворителя в патроне аппарата Сокслета в момент начала перелива экстракта к массе навески бересты.

Как видно из рис. 2, основная доля компонента извлекается в течение первых двух часов. В дальнейшем идет медленное увеличение выхода. За 4 ч выход составлял от 24,8 до 30,9 %, в среднем – 28,3 % от массы абс. сухой бересты.

На рис. 3 показано изменение содержания бетулина в бересте в процессе экстракции. За первый час удаляется больше половины этого вещества, вероятно то его количество, которое находится на поверхности бересты или в свободном виде. После часа обработки содержание бетулина в бересте плавно снижается, что можно объяснить извлечением его из внутренних слоев частиц. Данные по содержанию бетулина в остатке во всех случаях отличались незначительно в пределах ошибки опыта. Статистическая обработка полученных данных говорит о достоверности полученных результатов.



Рис. 3. Зависимость содержания бетулина в бересте от продолжительности экстракции (см. обозначения на рис. 2)



При увеличении жидкостного модуля, т.е. увеличении удельного расхода растворителя, быстрее обновляется поверхность контакта фаз, весь растворенный бетулин удаляется с поверхности, что приводит к росту скорости внутренней диффузии. При меньшем жидкостном модуле (пробы 1 и 2) четко выражен участок, на котором преобладает процесс растворения, а скорость извлечения меняется мало. Можно заключить, что продолжительность процесса экстракции должна составлять не менее 3 ч. Целесообразно работать при возможно меньшем жидкостном модуле, так как в этом случае снижаются затраты на регенерацию растворителя.

Нами была рассчитана скорость извлечения бетулина, равная изменению его концентрации  $\Delta C$  в твердой фазе за определенный промежуток времени  $\Delta t$  (рис. 4). Весь процесс можно разделить на два периода: период падающей скорости, который продолжается 2-3 ч в зависимости от жидкостного модуля, период постоянной скорости.

Во всех случаях качество полученного продукта оценивали по температуре плавления, цвету, кислотному числу, ИК-спектрам. Температура плавления бетулина находилась в пределах 240 ... 250 °С; бетулин имел белый цвет с сероватым или кремоватым оттенком; кислотное число 20 ... 24 мг КОН/г продукта. ИК-спектры показали наличие всех функциональных групп бетулина. Данный продукт может быть использован как таковой или подвергнут перекристаллизации гидро-фобным растворителем в зависимости от требований потребителя.

На основании следования разработана

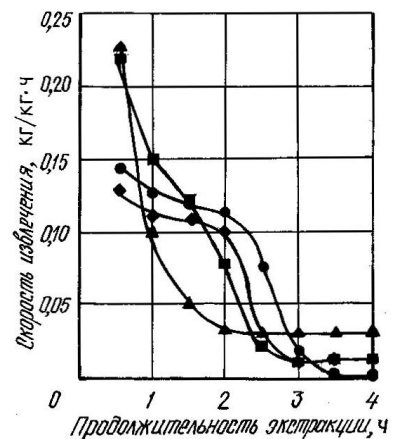


Рис. 4. Зависимость скорости процесса  $\Delta C/\Delta t$  от продолжительности экстракции

проведенного технологическая

---

схема, включающая в себя основные стадии: экстракцию, отгонку части растворителя, разбавление экстракта водой, фильтрацию и промывку выделенного при разбавлении бетулина, ректификацию растворов спирта в целях регенерации растворителя. В схеме предусмотрен замкнутый технологический цикл: отработанная береста направляется на сжигание, для разбавления экстракта и промывки бетулина используется вода – кубовый остаток ректификационной колонны.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 10.06.03

*L.I. Selyanina*

**Betulin Extraction out of Birch Processing Wastes  
by Alcohol Extraction**

Main technological parameters of betulin extractions out of birch processing wastes by alcohol have been developed.

---

УДК 662.71

*И.П. Дейнеко*

Дейнеко Иван Павлович родился в 1944 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор химических наук, профессор кафедры органической химии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 150 печатных работ в области химической переработки древесного сырья.



### **ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПРИ ПИРОЛИЗЕ\***

Предложены механизмы химических превращений целлюлозы при пиролизе, протекающих как с образованием низкомолекулярных соединений, так и с появлением углерод-углеродных связей.

*Ключевые слова:* пиролиз, целлюлоза, древесный уголь, химические превращения.

Целлюлоза является самым распространенным органическим веществом в природе и имеет разнообразные сферы применения. Одно из важных направлений химической переработки целлюлозосодержащего сырья – пиролиз, значение продуктов которого возрастает. В частности, в последние годы вновь усилился интерес к производству древесного угля, являющегося уникальным углеродсодержащим материалом [24]. Интенсивно развивается производство углеродных волокон из целлюлозы [19]. Перспективно использование продуктов термической переработки целлюлозы – низкомолекулярных соединений, например левоглюкозана [15].

Выход, состав и свойства продуктов, получаемых термической переработкой целлюлозы, определяются характером химических превращений этого природного полимера. Высокая температура процесса и отсутствие сольватации делают возможным реализацию разнообразных маршрутов ее превращений, выяснение типов которых и вклада отдельных актов в суммарный процесс еще не завершено. Однако, поскольку понимание механизмов протекающих реакций служит основой для совершенствования технологий, нами сделана попытка обобщить и систематизировать материал, накопленный по химическим превращениям целлюлозы.

В промышленности процессы термической переработки целлюлозосодержащего сырья осуществляются, как правило, с постепенным подъемом температуры. Поэтому характер протекающих реакций определяется конкретными условиями, их механизм на разных стадиях процесса существенно различается. При подъеме температуры до 250 ... 280 °С преобладают гетеролитические реакции, движущей силой которых являются кислотно-

---

\* Автор выражает благодарность проф. Д.А. Пономареву и доц. В.Е. Ковалеву за участие в обсуждении материалов статьи.

основные взаимодействия отдельных реакционных центров целлюлозы. Примерно с 250 °С в системе начинаются гомолитические реакции, роль которых с ростом температуры усиливается. В широкой области температур, по мере накопления двойных связей, осуществляются многоцентровые процессы (перициклические реакции). Многообразие протекающих при пиролизе реакций связано с присутствием и образованием в целлюлозе разных по реакционной способности функциональных групп, способных подвергаться различным типам превращений, которые включают реакции отщепления (элиминирования), замещения, присоединения, перегруппировки. Разнообразное сочетание перечисленных реакций, участие в реакциях разного направления образующихся первичных продуктов – вот причины очень сложного состава конечных продуктов пиролиза, который до конца еще не изучен. Все это затрудняет выяснение механизмов реакций, осуществляющихся в ходе процесса. К настоящему времени достигнуто определенное понимание характера протекания начальных стадий термопревращений. Механизмы стадий, приводящие к образованию многих конечных низкомолекулярных продуктов и формированию структуры угольного остатка, пока еще могут быть сформулированы лишь в общих чертах. Предлагаемые механизмы химических превращений целлюлозы при пиролизе в основном базируются на данных о строении образующихся продуктов. Поэтому необходимо развивать исследования по более убедительному обоснованию протекания предполагаемых реакций. Тем не менее, рассмотренная ниже конкретизация возможных направлений трансформации макромолекулы может быть полезна для более направленного поиска путей управления термическими процессами получения углеродсодержащих продуктов.

Особенностью термических превращений целлюлозы при пиролизе является существенная роль внутримолекулярных реакций, что связано с малой концентрацией внешних реагентов, особенно, на начальных стадиях процесса.

Все многообразие протекающих при пиролизе целлюлозы реакций можно свести к двум типам: реакции деструкции, приводящие к образованию низкомолекулярных соединений; реакции конденсации, сопровождающиеся возникновением углерод-углеродных связей, включая образование карбоциклических структур.

#### *Образование низкомолекулярных соединений*

Состав продуктов пиролиза целлюлозы сложен; в результате термопревращений полисахарида образуется более ста соединений. В наибольших количествах, помимо нелетучего углеродного остатка, образуются вода и оксиды углерода. Выход некоторых низкомолекулярных органических соединений приведен в табл. 1.

Кроме представленных в табл. 1 соединений, при термообработке целлюлозы образуются [7, 25] моносахариды и дисахариды, ангидросахара (левоглюкозан и др.), а также разнообразные продукты с пятью (левулиновая кислота, 2,3-пентандион, пентадиеналь, пентен), четырьмя (метилэтил-

кетон, бутенон-2,  $\alpha$ -метилакролеин, кротоновый альдегид, масляная кислота), тремя (пропионовый альдегид, глицериновый альдегид, мезоксалевоый альдегид, гидроксипировиноградный альдегид дигидроксиацетон, гидроксиметилглиоксаль, метилглиоксаль, пировиноградная и молочная кислоты), двумя (глиоксаль, гликолевый альдегид, глиоксалева кислота) и одним (метанол, формальдегид, муравьиная кислота, оксид и диоксид углерода) углеродными атомами. Из ароматических соединений в продуктах пиролиза найдены фенол, *m*- и *n*-крезолы, 2,5- и 3,4-диметилфенолы, этилбензол, стирол, нафталин, метилнафталин, бензофуран. Помимо левоглюкозана при пиролизе целлюлозы образуются и другие ангидропроизводные глюкозы, в том числе и в фуранозной форме.

Распад целлюлозы с заметной скоростью начинается при 270 °С и заканчивается примерно при 370 °С (скорость нагрева 5 °С/мин). Максимум скорости потери массы отмечен при 330 ... 335 °С. В период интенсивного распада теряется около 60 ... 65 % массы исходного вещества; углеродный остаток при 500 °С составляет 15 ... 20 %. Однако начальные стадии превращений целлюлозы наблюдаются при относительно невысокой температуре. Снижение степени полимеризации (СП) происходит уже при 120 °С и к 190 °С достигаются предельные значения (СП = 200 ... 300) при потере образцом до 15 % массы.

Образование низкомолекулярных соединений можно объяснить протеканием следующих реакций.

*Реакции деполимеризации.* Начальной стадией превращений целлюлозы является разрыв межзвенной связи, она протекает уже при невысоких температурах.

**Влияние температуры на состав (%) продуктов пиролиза целлюлозы [7]**

Соединение	320 °С	420 °С	450 °С	500 °С	600 °С
	Пиролиз в вакууме		Пиролиз при обычных условиях		
Карбонильные соединения					
Ацетальдегид	...	...	0,27	0,47	2,53
Ацетон	...	...	0,01	0,10	0,51
Акролеин	...	...	0,09	0,81	2,10
2-Метилпропаналь	...	...	0,01	0,12	0,33
2-Бутанон	...	...	Следы	0,03	0,24
3-Бутен-2-он	...	...	0,04	0,40	1,64
Диацетил	...	...	0,04	0,19	0,53
Гидроксиацетон	...	...	0,13	0,18	0,71
Янтарный альдегид	...	...	0,04	0,10	0,46
2-Циклопентенон	...	...	0,02	0,05	0,28
Циклопентен-1,2-дион	...	...	0,09	0,28	0,55
2-Гидрокси-3-метилциклопентенон	...	...	0,03	0,04	0,13

Фураны

Фуран	0,03	0,03	0,05	0,20	0,81
2-Метилфуран	0,02	0,03	0,03	0,05	0,17
Фурфурол	0,06	0,10	0,11	0,29	0,49
3-Фуральдегид	...	...	0,03	0,07	0,29
5-Метилфурфурол	0,01	0,02	0,01	0,06	0,20
Фуриловый спирт	...	...	0,04	0,05	0,08
Фуран-2,5-диальдегид	...	...	0,08	0,18	0,21
5-Гидроксиметилфурфурол	0,01	0,09	0,37	1,00	0,47
Лактоны					
Валеролактон	...	...	0,02	0,04	0,10
2-Бутен-4-олид	...	...	0,12	0,32	0,25
Кислоты					
Уксусная	...	...	0,12	0,31	0,85
Пропионовая	...	...	0,02	0,06	0,31
Фенолы					
Фенол	...	...	0,01	0,03	0,07
<i>o</i> -Крезол	...	...	-	0,01	0,02
Углеводороды					
Циклопентадиен	-	0,04	0,03	0,12	0,42
Бензол	-	-	-	-	0,17
Толуол	-	-	-	-	0,12
Углеродный остаток	67,80	17,50	31,40	7,70	4,40

температурах. Снижение степени полимеризации целлюлозы начинается при температуре около 150 °С [26]. Образование моносахаридов и дисахаридов при термическом распаде полисахарида позволяет заключить, что расщепление гликозидных связей осуществляется с участием молекул воды (рис.1):

7\*

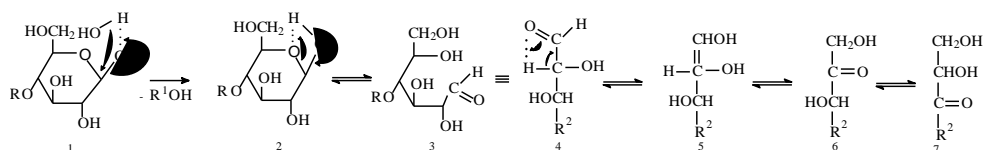


Рис.1. Расщепление гликозидных связей в целлюлозе

На начальных стадиях процесса разрыв гликозидных связей происходит с участием сорбированных полисахаридом молекул воды, которые, вследствие межмолекулярного взаимодействия, полностью трудно удаляются при сушке [13]. По мере образования молекул воды в результате дегидратации целлюлозы они также могут атаковать близко расположенные межзвенные связи. Важную роль воды при распаде полимера подтверждают

данные о повышении выхода низкомолекулярных продуктов при пиролизе увлажненной целлюлозы.

При замене гидроксильных групп в целлюлозе на ацетильные температура начала ее разложения (начало потери массы – 220 °С) повышается на 30 ... 70 °С [16] вследствие экранирования реакционного центра.

Состав низкомолекулярных продуктов свидетельствует о том, что дальнейшим превращениям подвергаются не только альдозы (3), но и образующиеся при эпимеризации карбонилсодержащих звеньев кетозы (6, 7).

При более высоких температурах разрыв гликозидной связи в целлюлозе осуществляется по другому механизму. Основным продуктом высокотемпературного пиролиза целлюлозы является левоглюкозан. При проведении процесса в вакууме выход левоглюкозана достигает 75 %, что свидетельствует о преобладании этого направления термодеструкции при повышенных температурах.

Появление левоглюкозана в продуктах распада целлюлозы зафиксировано уже при 245 °С, однако скорость его образования при этой температуре мала и лишь при 275 °С значительно увеличивается, достигая максимума при 310 °С. А.Н. Кислициным предложен радикально-цепной процесс деполимеризации [7] (рис. 2):

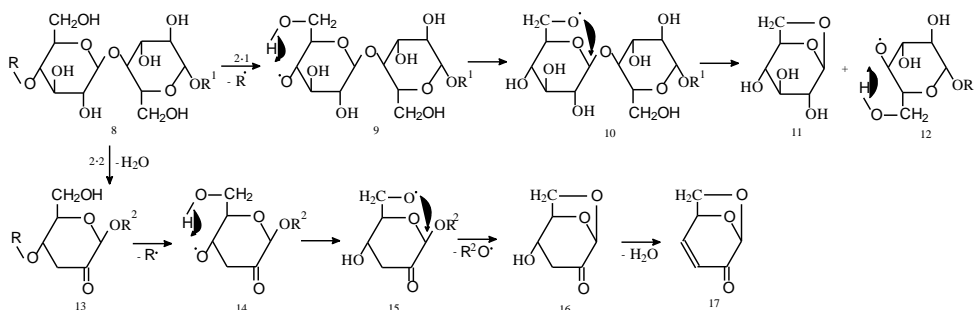


Рис.2. Предполагаемый механизм деполимеризации целлюлозы

Предполагается, что первой стадией процесса (направление 2.1) является гомолитический разрыв гликозидной связи, на возможность которой указывает увеличение концентрации свободных радикалов при 250 °С. Первично образовавшийся алкоксильный радикал (9) изомеризуется в радикал (10), внутримолекулярная атака которым первого углеродного атома приводит к образованию левоглюкозана (11) и появлению у примыкающего элементарного звена алкоксильного радикала (12), подобного радикалу (9). Результат этого акта – регенерация активного центра, продолжающего цепной процесс. Параллельный маршрут – деполимеризация элементарных звеньев, подвергшихся предварительно дегидратации (направление 2.2). Конечным

продуктом этого направления является левоглюкозенон (17), образующийся при пиролизе целлюлозы в относительно небольших количествах.

Хотя предложенный механизм обосновывается довольно низкой энергией диссоциации ацетальной связи (310 кДж/моль в 1,3-диоксане [12]) и объясняет основные экспериментальные данные, не совсем понятна высокая селективность радикального процесса, т. е. практически полное отсутствие взаимодействия алкоксильных радикалов с другими реакционными центрами. Поэтому нельзя полностью исключить и гетеролитический механизм процесса [21].

*Реакции дегидратации.* Разрыв гликозидной связи может осуществляться и как следствие протекания внутримолекулярных реакций элиминирования.

Поскольку один из основных низкомолекулярных продуктов термопревращений целлюлозы – вода (до 34 % от массы целлюлозы), реакции дегидратации являются важным направлением термодеструкции полисахарида. Отщепление воды при пиролизе целлюлозы протекает уже при 120 °С [18], но с достаточно высокой скоростью дегидратация начинает осуществляться при температуре около 200 °С, о чем свидетельствует снижение содержания глюкозных звеньев в полимерной цепи, превышающее 6 % [4]. При 220 ... 280 °С выделяется 15 ... 25 % воды, считая от суммарного образующегося ее количества; выделение воды практически прекращается по достижении 380 °С.

Наиболее легко происходит отщепление гидроксильной группы от третьего углеродного атома концевых ациклических звеньев, облегчающееся внутримолекулярной водородной связью кислородного атома гидроксильной группы с находящимся у второго углеродного атома водородом и образованием двойной связи, сопряженной с карбонильной группой (рис. 3). Подвижность протона у второго углеродного атома сравнительно высока вследствие активирующего влияния соседней карбонильной группы [3]. Поскольку разность свободных энергий ациклической и циклической форм у углеводов невелика (для глюкозы порядка 7 ккал/моль [17]), с повышением температуры равновесие сдвигается в сторону ациклической формы [1], и поэтому данное направление дегидратации будет лимитироваться разрывом межзвенной связи. Первичным продуктом дегидратации является дикарбонильное соединение (20), которое выделено при термообработке целлюлозы (3-дезоксиглюкозон: – R = CH<sub>2</sub>OH) [7]:

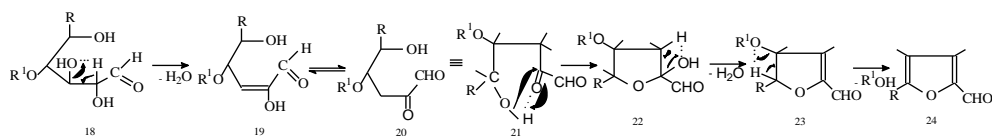


Рис. 3. Дегидратация карбонилсодержащих фрагментов целлюлозы

Такого же типа реакция может протекать и в случае элементарного звена с углеродным атомом, включенным в ацетальную связь, кислородные



атомы которой также будут повышать СН-кислотность гидроксиметиновой группы. Однако электроноакцепторное действие первого углеродного атома в данном случае будет меньше, чем при наличии карбонильной группы, и поэтому дегидратация будет происходить при более высокой температуре.

Появление производных фурфурола (24) при пиролизе связано с промежуточным образованием циклического полуацеталя (22) с последующей его дегидратацией (рис. 3). Если заместителем у четвертого атома углерода является остаток полисахарида, то итогом элиминирования будет разрыв межзвенной связи, приводящий к образованию нового редуцирующего концевое звена.

Поскольку гликольные группировки начинают подвергаться дегидратации при 160 °С [5], при достаточно высокой температуре происходит отщепление гидроксильных групп и от других атомов углерода; последующая циклизация образовавшихся карбонилсодержащих фрагментов ответственна за образование разнообразных производных фурфурола. Так, появление 5-метилфурфурола связано с отщеплением гидроксильной группы от шестого атома углерода; фуран-2,5-диальдегид образуется из продукта дегидратации элементарного звена, появляющегося при отщеплении гидроксильной группы у пятого углеродного атома.

В свою очередь дегидратация элементарных звеньев в пиранозной форме приводит к появлению производных пирана, обнаруженных в продуктах пиролиза целлюлозы (2-метил-3,5-дигидрокси- $\gamma$ -пирон и 2-метил-3-гидрокси- $\gamma$ -пирон – мальтол) [7].

Внутримолекулярная дегидратация, обусловленная взаимодействием гидроксильных групп элементарного звена целлюлозы, обеспечивает образование простой эфирной связи с получением, например, 3,6-ангидроглюкопиранозы и 1,4; 3,6-диангидроглюкопиранозы.

Отщепление воды может происходить в результате не только внутримолекулярных, но и межмолекулярных реакций, осуществляющихся при благоприятном относительном расположении звеньев соседних цепей. При этом протекание реакции обеспечивается за счет взаимодействия гидроксильных групп, приводящего к образованию простых эфирных связей. Наиболее вероятным является взаимодействие гидроксильной группы с наиболее сильными кислотными свойствами, находящейся у второго углеродного атома [8] и выполняющей роль протонодонорной частицы, и гидроксильной группы шестого углеродного атома с более высокой основностью атома кислорода [27]. Хотя при повышенных температурах простые эфирные связи могут разрушаться, однако их образование фиксирует отдельные элементарные звенья в определенном положении друг относительно друга, что благоприятствует протеканию межмолекулярных реакций, приводящих к образованию углерод-углеродных связей, т. е. формированию угольного остатка.

*Образование карбоновых кислот и их декарбонилирование.* Образование диоксида углерода начинает происходить уже при относительно не-

высоких температурах (170 °С) [7]; выход его при 295 °С (10 мин) составляет 1,4 % [23]. Источником диоксида углерода, очевидно, являются карбоксилсодержащие группировки, которые отсутствуют в исходном полимере. При пиролизе целлюлозы в интервале температур 257 ... 278 °С содержание карбоксильных групп возрастает в 2,5 раза (до 12,6 ммоль/г) и достигает максимума при 309 °С (50,1 ммоль/г) при потере массы образцом 19,6 %. В низкомолекулярных продуктах термического распада полисахаридов обнаружено большое число карбоновых кислот различного строения. Можно предположить, что образование карбоксильных групп происходит через стадию либо гидратации карбонильных групп, либо образования полуацетала (рис.4):

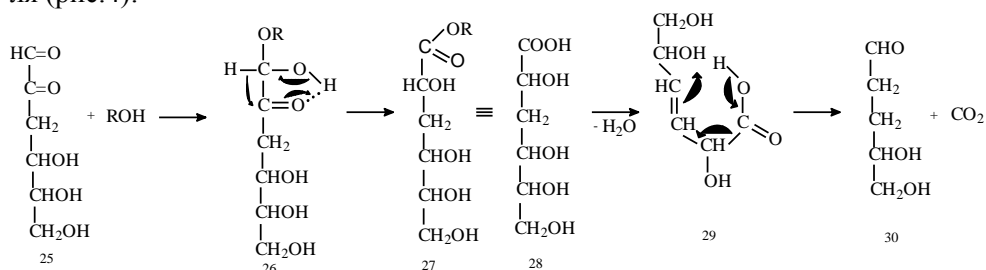
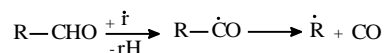


Рис. 4. Образование и превращения карбоксилсодержащих групп

Устойчивость гем-диола ((26) – R = H), имеющего электроноакцепторный заместитель, более высокая, чем у незамещенных альдегидов [20]. Превращения его или полуацетала, приводящие к образованию карбоксильной группы, очевидно, осуществляются как внутримолекулярная окислительно-восстановительная реакция, которая протекает в результате переноса заместителя с электронной парой, облегчаемого понижением электронной плотности у карбонильного атома углерода вследствие смещения π-электронов к водороду гидроксильной группы. Продуктом реакции в зависимости от природы R будет либо кислота, либо сложный эфир. По-видимому, при достаточно высоких температурах подобного типа реакция происходит и с циклической полуацетальной формой карбонилсодержащего остатка полимерной цепи, что приводит к образованию лактона.

Образующиеся кислоты могут претерпевать превращения по нескольким направлениям. В частности, если исходное соединение представляет собой моносахарид или концевое редуцирующее звено полисахарида, гидроксикислота (28) после дегидратации может образовывать неустойчивую при высоких температурах β,γ-непредельную кислоту, подвергающуюся термическому декарбоксилированию по шестицентровому механизму [10]. Например, если исходным соединением будет соединение (20) (см. рис. 3), в качестве продукта декарбоксилирования получится альдегид (30). Продукт декарбоксилирования (30) может далее давать производное фурана.

*Реакция декарбонилирования.* Образование оксида углерода обычно происходит при термическом распаде карбонилсодержащих соединений и описывается как гомолитический процесс [11]:



Поскольку радикальные частицы появляются при температуре порядка 250 °С, это направление распада ответственно за образование основных количеств оксида углерода, максимальная скорость выделения которого наблюдается при 270 ... 280 °С.

При низких температурах не исключен и гетеролитический механизм декарбонилирования. В частности, поскольку образование  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  из глюкозы в интервале температур 175 ... 275 °С происходит преимущественно из первого углеродного атома [22], возможно протекание конкурентного декарбонилирования из  $\alpha$ -дикарбонильного соединения (20) посредством переноса гидрид-иона [14].

*Ретроальдовый распад.* Образование многих низкомолекулярных продуктов можно объяснить протеканием реакций ретроальдового распада [6]. В соответствии с представленной на рис. 5 схемой, одним из продуктов этого распада является гликолевый альдегид в енольной форме (32), который при определенных условиях может быть одним из основных низкомолекулярных продуктов пиролиза целлюлозы [28]; вторым является тригидроксибутаналь ((33) –  $\text{R} = \text{H}$ ), который может далее претерпевать также ретроальдовый распад, образуя также гликолевый альдегид:

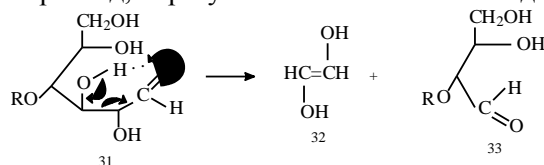


Рис. 5. Ретроальдовый распад карбонилсодержащих группировок полисахаридов

Кроме того, соединение (33) может подвергаться кето-енольной таутомерии и дегидратации. Продуктом ретроальдового распада тетразы (рис. 6) в альдегидной форме (35), как и гексозы, будет гликолевый альдегид (32); кето-производное (36) дает формальдегид и дигидроксиацетон (37), изомеризирующийся в глицериновый альдегид (38), дегидратация которого дает метилглиоксаль (39). Метилглиоксаль при взаимодействии с водой может образовывать молочную кислоту (40). Кетоза (36) может также подвергаться дегидратации с образованием  $\alpha$ -дикетона (44), превращение которого в дигидрокси кислоту (45) и ее фрагментация с отщеплением диоксида углерода и воды приводит к появлению ацетона (46):

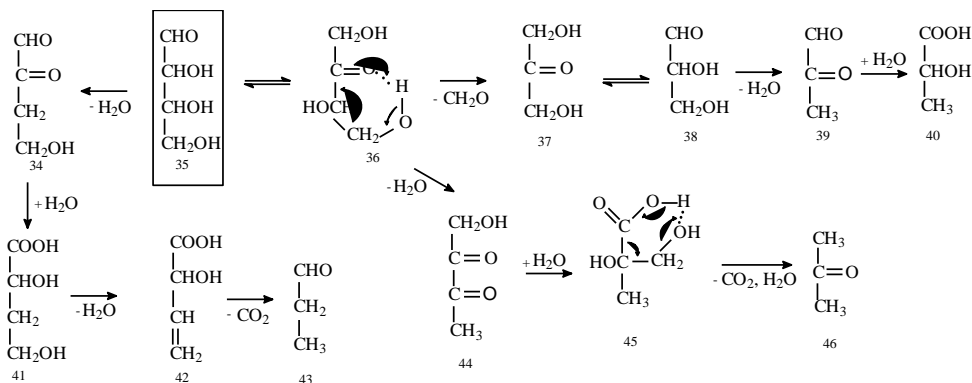


Рис. 6. Термические превращения тригидроксидибутанала

Превращение  $\alpha$ -дикарбонильного соединения (34) в гидроксикислоту (41) после последовательных реакций дегидратации и декарбоксилирования дает пропаналь (43).

Ретроальдольному распаду с образованием разнообразных низкомолекулярных продуктов могут подвергаться и первичные продукты дегидратации гексоз и пентоз, а также их эпимеры.

*Фрагментация 1,3-диолов.* Образование внутримолекулярных водородных связей между гидроксильными группами, расположенными друг относительно друга в  $\beta$ -положении, может приводить к разрыву углерод-углеродной связи, примыкающей к гидроксильной группе (рис. 7) [10], которая является донором протона. Одновременно происходит образование молекулы воды:

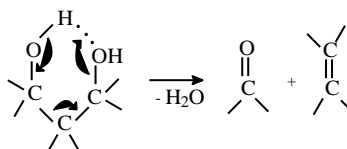


Рис. 7. Фрагментация 1,3-диолов

В соответствии с приведенной на рис. 7 схемой может происходить распад как исходных углеводных звеньев, так и продуктов их превращений – 1,3-диолов. Наиболее вероятным направлением фрагментации будет направление, обеспечиваемое в качестве кислотного компонента гидроксильной группой, имеющей более подвижный протон. Так, в случае глюкозы более сильной протондонорной группой будет гидроксильная группа у второго углеродного атома [8]. В результате протонирования гидроксильной группы у четвертого углеродного атома происходит разрыв  $C_2-C_3$  связи, и продуктами реакции будут глиоксаль и 3,4-дигидроксидибутаналь. Последнее соединение после образования циклического ацетала и дегидратации является источником появления фурана. Аналогичное может происходить и с элементарным звеном полисахарида. Донором электронной пары в данном

случае является атом кислорода межзвенной связи. Итогом такой реакции будет расщепление гликозидной связи.

В условиях пиролиза в роли донора протона очевидно могут быть различные гидроксильные группы глюкозы. Подобного типа реакции также могут происходить в элементарных звеньях полимерной цепи, и в качестве донора электронной пары в этом случае выступает кислородный атом гликозидной связи. Так, при участии в реакции гидроксильной группы шестого углеродного атома целлюлозы в результате реакции фрагментации будет происходить разрыв межзвенной связи (рис. 8), обеспечивающий появление конечного редуцирующего звена в отщепившейся цепи:

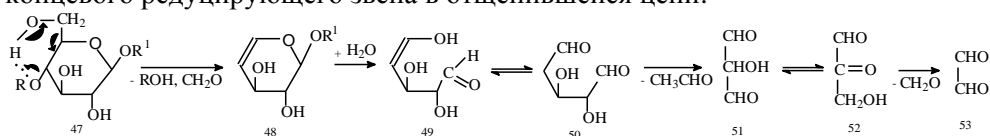


Рис. 8. Фрагментация элементарного звена целлюлозы

Продукт фрагментации (47) после гидролитического разрыва гликозидной связи дает 2,3-дигидроксипентандиаль (50), который далее может подвергаться превращениям по различным направлениям. Например, ретроальдовый распад диальдегида (50) может приводить к появлению уксусного альдегида и гидроксипропандиала (51), изомеризирующегося в гидроксипировиноградный альдегид (52). В свою очередь ретроальдовый распад гидроксипировиноградного альдегида является причиной появления глиоксаля (53).

#### Образование углерод-углеродных связей

Формирование угольного остатка при пиролизе целлюлозы происходит в результате образования углерод-углеродных связей, включая образование карбоциклических структур. Возникновение углерод-углеродных связей может происходить по нескольким механизмам.

*Альдольная конденсация.* Реакции альдольной конденсации при пиролизе целлюлозы имеют большое значение для образования угольного остатка, поскольку содержание карбонильных групп в полимере, вследствие протекания рассмотренных выше реакций, в начальной стадии пиролиза существенно возрастает. Образование углерод-углеродных связей за счет реакций альдольной конденсации происходит в соответствии со схемой, приведенной на рис. 9 [6]:

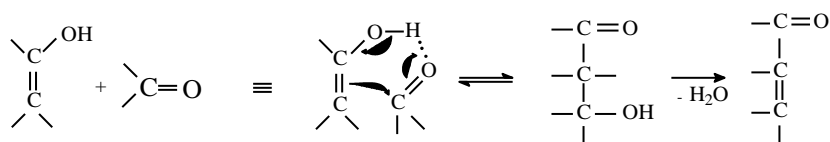


Рис. 9. Альдольная конденсация карбонилсодержащих структур

Протеканию реакций этого типа способствует то, что равновесное содержание енольной формы карбонилсодержащего соединения в отсутствие растворителя, как правило, возрастает [6]. Эти реакции могут протекать с участием как карбонилсодержащих фрагментов, включенных в полимерную цепь, так и разнообразных низкомолекулярных продуктов деструкции. Взаимодействие реакционных центров близко расположенных полимерных цепей приводит к образованию межцепных углерод-углеродных связей, т. е. к их сшиванию. Реакции полимера с низкомолекулярными продуктами распада являются причиной появления боковых ответвлений, и вероятность сшивки возрастает. Хотя реакция альдольной конденсации обратима (ретроальдольный распад), протекание реакций дегидратации, приводящих к возникновению двойных связей, стабилизирует образующиеся структуры.

Внутримолекулярные реакции альдольной конденсации – один из путей образования карбоциклических соединений. При этом в ходе внутримолекулярной альдольной конденсации продукта дегидратации глюкозного звена (54) появляются либо бензохинон (59), имеющий высокую реакционную способность, либо карбонилсодержащие производные циклопентана (60), (63) (рис.10):

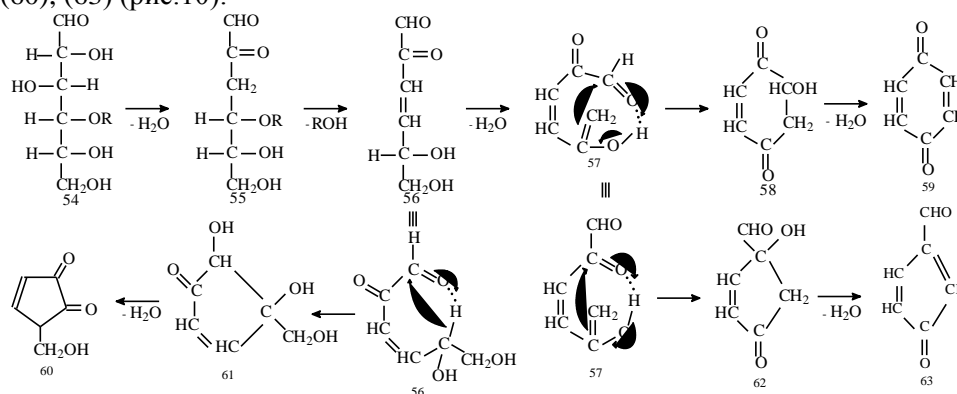


Рис. 10. Внутримолекулярные реакции альдольной конденсации

В данном случае процесс может протекать при сравнительно невысокой температуре, поскольку дегидратация осуществляется ступенчато с участием протонов, отщепляющихся от углеродных атомов, примыкающих к карбонильной группе. Однако, вследствие низкого содержания при невысоких температурах карбонильных групп в полисахаридах, приведенная реакция не может получить существенного развития.

При достаточно высокой температуре процесса реакции дегидратации протекают менее селективно, и при первоначальном образовании карбонильной группы у пятого углеродного атома с последующим замыканием

цикла и образованием хинонной структуры связь с полимерной цепью у четвертого атома углерода может сохраниться. Поэтому хинонная группировка может взаимодействовать далее с соседним звеном целлюлозной цепи. Бензохинон проявляет сильную окислительную способность, т. е. он может выполнять роль акцептора электронов [11]. Кроме того, бензохинон активно реагирует с нуклеофильными реагентами с образованием конденсированных структур.

Реакции внутримолекулярной альдольной конденсации протекают и с продуктами, образующимися по аналогичной межмолекулярной реакции, о чем свидетельствует образование при пиролизе целлюлозы замещенных фенолов. При термообработке целлюлозы (2 °С/мин) появление ароматических структур наблюдается уже при 250 °С. Это свидетельствует о последовательном протекании межмолекулярных и внутримолекулярных реакций альдольной конденсации.

*Реакции циклоприсоединения.* При пиролизе полисахаридов на различных стадиях процесса происходит образование двойных связей. Взаимодействие непредельных соединений возможно по типу реакции Дильса–Альдера [9], заключающейся в присоединении олефиновой группы к сопряженному диену ([4+2]-циклоприсоединение). Реакция протекает через циклическое переходное состояние (рис.11) [9]:

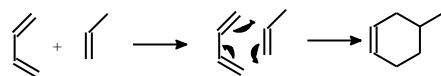
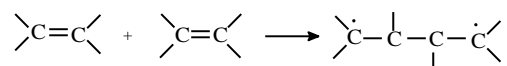


Рис. 11. Реакция циклоприсоединения

В роли диена могут выступать образующиеся при термодеструкции полисахаридов фураны, циклопентадиены и другие продукты термических превращений углеводов. Поскольку при наличии у олефина (диенофила) электроноакцепторных заместителей реакция облегчается, образование продуктов подобной структуры при пиролизе в значительных количествах делает этот путь накопления карбоциклических структур важным направлением формирования угольного остатка. Реакции циклоприсоединения могут протекать при низких температурах. Например, реакция бутадиена с акролеином заканчивается при 100 °С за 1 ч, а бензохинон может реагировать с диеном даже при комнатной температуре [2]. В роли диена могут выступать и кислородсодержащие производные алкенов. Так, при замене метиленовой группы бутадиена кислородным атомом активность соединения заметно возрастает [9]. Образующиеся при этом производные пирана подвергаются дальнейшим превращениям.

*Радикальные реакции.* Интенсивное образование радикалов при термической обработке целлюлозы начинается при температуре 250 °С. Однако появление радикальных частиц зафиксировано и при более низких температурах. Так, при длительном нагревании целлюлозы в запаянных ампулах при 200 °С накапливаются радикальные центры. Поскольку энергия диссоциации химических связей в полисахариде превышает 300 кДж/моль, ис-

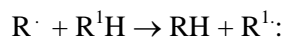
точником образования радикалов при относительно низких температурах являются продукты превращений полимера. Наиболее вероятным путем появления радикалов будет взаимодействие между собой олефиновых группировок с образованием простой углерод-углеродной связи и бирадикала:



В данной реакции энергия, расходуемая на разрыв двух  $\pi$ -связей, частично компенсируется энергией, выделяющейся при образовании  $\sigma$ -связи. Реакция облегчается при наличии в качестве заместителей группировок, содержащих  $\pi$ -электроны. Например, такие соединения, как стирол и метилметакрилат, претерпевают самопроизвольную полимеризацию при температуре, не превышающей 100 °С [9]. Поэтому в этом процессе может участвовать целый ряд промежуточных продуктов, содержащих двойные связи. Вероятность встречи непредельных группировок, находящихся в твердой фазе невелика, однако одним из компонентов, участвующих в реакции, может являться низкомолекулярный продукт распада (акролеин, производные фурана, акриловая кислота и др.), образование которого произошло вблизи от реакционной группы, фиксированной в полимерной матрице.

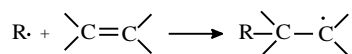
Появление радикалов обеспечивает развитие превращений по нескольким направлениям [10].

1) Во-первых, радикальная частица может участвовать в переносе радикального центра:



Если образование нового радикала произошло при реакции альдегида или кислоты, то далее происходит его декарбонилирование или декарбоксилирование с появлением алкильного радикала.

2) Вторым важным направлением превращений радикала является его присоединение по двойной связи, что обеспечивает удлинение углеродной цепи:



3) При встрече двух радикальных центров может происходить либо рекомбинация, либо диспропорционирование. Наиболее вероятна встреча двух радикалов, находящихся недалеко друг от друга в пределах одной цепи. Рекомбинация радикалов в таком случае приводит к образованию цикла, а при диспропорционировании радикалов образуется новая непредельная группировка.

При температурах, превышающих 300 °С, начинает происходить диссоциация наиболее слабых химических связей (кДж/моль) [12]: С-СНО (288,3), С-СНО (328,0), С-С в ацеталах (313,9). При гомолитическом разрыве связи образуются радикалы, принимающие участие в рассмотренных реакциях. Дальнейшее повышение температуры сопровождается отщеплением



кислород- и водородсодержащих частиц и ароматизацией нелетучего остатка.

Таким образом, при пиролизе целлюлозы низкомолекулярные продукты распада образуются вследствие протекания реакций деполимеризации, дегидратации, декарбоксилирования, декарбонилирования, ретроальдольного распада и фрагментации 1,3-диолов, а образование угольного остатка осуществляется в результате альдольной конденсации, циклоприсоединения и радикальных реакций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вальтер Р.Э.* Кольчато-цепная изомерия в органической химии / Р.Э. Вальтер. – Рига: Зинатне, 1978. – 238 с.
2. *Вассерман А.* Реакция Дильса–Альдера / А. Вассерман. – М.: Мир, 1968. – 133 с.
3. *Днепровский А.С.* Теоретические основы органической химии / А.С. Днепровский, Т.И. Темникова. – Л.: Химия, 1991. – 560 с.
4. *Домбург Г.Э.* Влияние поля температур на химические изменения компонентов древесины при низкотемпературном пиролизе / Г.Э. Домбург, Т.Е. Шаропова, Э.Д. Левин и др. // Химия древесины. – 1979. – № 5. – С. 77–81.
5. *Елистратов А.В.* Термическая стабильность гликолей / А.В.Елистратов [и др.]. – М.: ИРЦ Газпром, 1998. – 30 с.
6. *Ингольд К.* Теоретические основы органической химии / К. Ингольд. – М.: Мир, 1973. – 1055 с.
7. *Кислицын А.Н.* Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы / А.Н. Кислицын. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 312 с.
8. *Кленкова Н.И.* Структура и реакционная способность целлюлозы / Н.И. Кленкова. – М.: Наука, 1976. – 376 с.
9. *Марч Дж.* Органическая химия. Реакции, механизмы и структура: в 4 т. Т. 3. / Дж. Марч. – М.: Мир, 1987. – 459 с.
10. *Матье Ж.* Курс теоретических основ органической химии / Ж. Матье, Р. Панико. – М.: Мир, 1975. – 556 с.
11. *Нонхибел Д.* Химия свободных радикалов / Д. Нонхибел, Дж. Уолтон. – М.: Мир, 1977. – 606 с.
12. *Орлов Ю.Д.* Термохимия органических свободных радикалов / Ю.Д. Орлов, Ю.А. Лебедев, И.Ш. Сайфуллин. – М.: Наука, 2001. – 304 с.
13. *Папков С.П.* Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой / С.П. Папков, Э.З. Файнберг. – М.: Химия, 1976. – 232 с.
14. *Парнес З.Н.* Реакции гидридного перемещения в органической химии / З.Н. Парнес, Д.Н. Курсанов. – М.: Наука, 1969. – 165 с.
15. *Перникис Р.Я.* Олигомеры и полимеры на основе ангидридов сахаров / Р.Я. Перникис. – Рига: Зинатне, 1976. – 180 с.
16. *Рожкова О.В.* Термический анализ целлюлозы и ее производных / О.В.Рожкова [и др.] // Химия древесины. – 1988. – № 1. – С. 29–35.
17. *Стоддарт Дж.* Стереохимия углеводов / Дж. Стоддарт. – М.: Мир, 1975. – 304 с.

18. Федосеев С.Д. Физико-химические основы термодеструкции углеродистых материалов / С.Д. Федосеев, Т.В. Комарова – М.: МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1984. – 44 с.
19. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе / А.С. Фиалков. – М.: Аспект Пресс, 1997. – 718 с.
20. Физер Л. Органическая химия. Углубленный курс. Т. 1 / Л. Физер, М. Физер. – М.: Химия, 1969. – 688 с.
21. Elder T. Pyrolysis of wood // Wood and cellulose chemistry / T. Elder. – N. Y. and Basel: Eds. N.S. Hon David, N. Shiraishi, 1991. – P. 665–700.
22. Houminer Y. Pyrolytic reaction of carbohydrate. II. Thermal decomposition of D-glucose / Y. Houminer, S. Patai // Israel Journal of Chemistry. – 1969. – Vol. 4, N 7. – P. 513–524.
23. Krochta J.M. Thermal degradation of cellulose in alkali / J.M. Krochta et al. // Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion. – London and N. Y.: Elsevier applied science publishers; Eds. R.P. Overend, T.A. Milne, L.K. Mudge, 1985. – P. 1073–1086.
24. Kumar M. Industrial uses of wood char / M. Kumar, R.C. Gupta // Energy Sources. – 1998. – Vol. 20. – P. 575–589.
25. Roy C. The pyrolysis under vacuum of aspen poplar / C. Roy, B. de Caumia, D. Brouillard et al. // Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion. – London and N. Y.: Elsevier applied science publishers; Eds. R.P. Overend, T.A. Milne, L.K. Mudge, 1985. – P. 237–256.
26. Shafizadeh F. Pyrolytic reactions and products of biomass / F. Shafizadeh // Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion. – London and N. Y.: Elsevier applied science publishers; Eds. R.P. Overend, T.A. Milne, L.K. Mudge, 1985. – P. 183–217.
27. Stewart R. The proton: applications to organic chemistry / R. Stewart. – Orlando: Academic Press, Inc., 1985. – 313 p.
28. Wang D. Catalytic steam reforming of biomass-derived oxygenates: acetic acid and hydroxyacetaldehyde / D. Wang, D. Montane, E. Chornet // Applied Catalysis, A: General. – 1996. – Vol. 143, N 2. – P. 245–270.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 16.03.04

*I.P. Dejneko*

### **Chemical Transformations of Cellulose under Pyrolysis**

Mechanisms of chemical transformations of cellulose under pyrolysis have been proposed. They run accompanied both by formation of low-molecular compounds and appearance of carbon-carbonic bonds.

---

УДК 547.992

***О.В. Броварова, Л.С. Кочева, А.П. Карманов,  
И.И. Шуктомова, Н.Г. Рачкова***

Броварова Ольга Владиславовна – младший научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 10 печатных работ в области химии целлюлозы, лигнина, сорбционных материалов.



Кочева Людмила Сергеевна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 100 печатных работ в области физикохимии полимеров, фракталов, химии лигнина, целлюлозы, недревесного растительного сырья.



Карманов Анатолий Петрович родился в 1948 г., окончил 1971 г. Куйбышевский политехнический институт, доктор химических наук, заведующий лабораторией физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 180 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, самоорганизации и фракталов, нелинейной динамики.



Шуктомова Ида Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела радиэкологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 100 печатных работ в области радиэкологии, радиохимии, спектрометрии, дозиметрии.



Рачкова Наталья Гелиевна – научный сотрудник отдела радиэкологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 30 печатных работ в радиэкологии, радиохимии, спектрометрии, дозиметрии.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬ-**

## НОГО СЫРЬЯ\*

Представлены результаты по разработке новых сорбентов тяжелых и радиоактивных металлов на основе растительного сырья (солома овса, ржи и пшеницы).

*Ключевые слова:* сорбенты, растительное сырье, овес, рожь, пшеница, удельная поверхность, обменная емкость, изотермы сорбции, тяжелые и радиоактивные металлы.

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами актуальна для больших городов и урбанизированных территорий России. Радиоактивное загрязнение также становится все более угрожающим фактором для многих регионов несмотря на отсутствие на их территориях предприятий атомной энергетики, в результате деятельности которых образуются представляющие основную опасность искусственные долгоживущие радионуклиды (изотопы Cs, Sr и др.).

Сорбенты на основе целлюлозы нашли широкое применение в решении экологических задач очистки сточных вод, газовых выбросов, грунта и др. [1]. В последнее время наметилась тенденция к созданию сорбентов тяжелых и радиоактивных металлов из полисахаридсодержащего сырья (кочкосовая скорлупа, свекловичный жом, солодковые ростки, пшеничные отруби, биомасса мицелиальных грибов и др.) [10–13] как альтернатива используемым в промышленности сорбентам (цеолиты, активные угли, анальцим-содержащие сорбенты и др.). Как правило, недостатками большинства способов получения сорбентов являются ограниченность сырьевых источников, низкий выход продукта и достаточно высокая его стоимость, определяемая технологией получения и дальнейшей переработки исходного сырья. Одними из перспективных в экономическом плане можно считать способы получения целлюлозно-неорганических сорбентов на основе древесной целлюлозы и гидроксидных, сульфидных и ферроцианидсодержащих материалов [3, 9, 16].

В настоящей работе исследована возможность получения сорбентов на основе недревесного растительного сырья. Стебли (солома) овса (*Avena sativa*), ржи (*Secale sp.*) и пшеницы (*Triticum sp.*) заготовлены в конце вегетационного периода на территории Сысольской сортоиспытательной станции (Республика Коми). Содержание основных компонентов и функциональных групп (фенольных, алифатических гидроксильных и карбоксильных) в исходном растительном сырье [5] определено стандартными методами [2, 7] и приведено в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что солома ржи, овса и пшеницы содержит значительное количество лигнина, сравнимое с его количеством в древесине лиственных пород (18 ... 24 %). Высока доля целлюлозы, особенно, в соло-

---

\* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 04-03-96029, 04-04-96022).

ме ржи и пшеницы. Известно, что для недревесных видов сырья характерно более низкое, чем в древесине, содержание целлюлозы, но общее содержание углеводов (холоцеллюлозы) примерно одинаково за счет высокой доли гемицеллюлоз, особенно пентозанов [6]. Для недревесных видов растительного сырья характерна высокая зольность. По нашим данным, наибольшее содержание золы отмечено в соломе овса – 5,0 %.

Таблица 1

Компонентный и функциональный состав растительного сырья, %

Показатели	Значения показателей		
	Овес	Рожь	Пшеница
Целлюлоза Кюршнера	44,7	49,0	48,7
Лигнин Комарова	22,5	20,0	21,4
Полисахариды:			
легкогидролизуемые	21,0	17,4	20,5
трудногидролизуемые	39,2	43,3	33,9
общее количество	60,2	60,7	54,4
Водорастворимые вещества	14,6	9,4	14,3
Экстрактивные вещества	4,2	3,1	5,6
Зольность	5,0	2,6	3,1
Содержание:			
ОН <sub>алиф</sub>	1,7	1,7	2,3
ОН <sub>фен</sub>	1,4	2,0	2,7
СООН	1,2	0,8	0,7

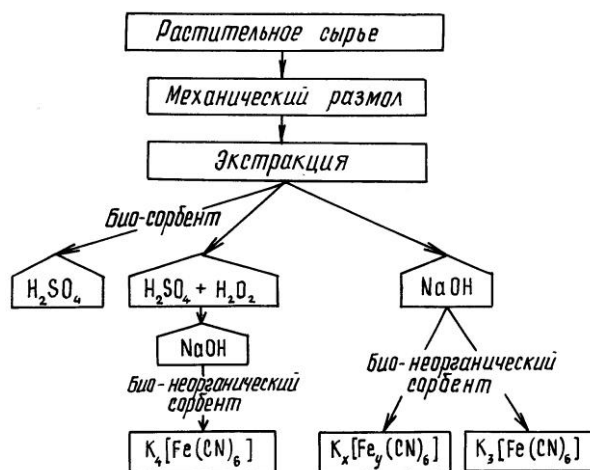


Рис. 1. Схема получения сорбентов

На рис. 1 представлена общая схема переработки однолетних злаковых растений с целью получения порошковых био- и бионеорганических сорбционных материалов. Для этого растительное сырье после размол и экстракции холодной, горячей водой и спирто-бензольной смесью обрабатывали разными способами: 1 – проводили гетерогенный кислотный гидролиз 1,5 %-й  $H_2SO_4$ ; 2 – сырье, как после кислотной обработки в присутствии

$H_2O_2$ , так и без нее, подвергали мягкой щелочной обработке, затем обрабатывали берлинской лазурью, желтой и красной кровяной солью [16]. В результате был получен ряд сорбентов (ОС-К, ПС-К, РС-К – гидролизом 1,5 %-й  $H_2SO_4$  соломы соответственно овса, пшеницы и ржи; ОС-Н, ПС-Н, РС-Н – обработкой  $NaOH + K_3[Fe(CN)_6]$  соломы соответственно овса, пшеницы и ржи). В табл. 2 приведена сорбционная способность исходного растительного сырья и некоторых из полученных на его основе сорбентов в отношении катионов Fe(III) и Cr(IV) из модельных растворов в сравнении с известными материалами растительного происхождения – активным углем (бытовой фильтр «Родник») и полифепаном. Модельные растворы: хлорид железа  $FeCl_3$  (исходная концентрация  $C_{исх} = 0,73$  мг/мл, pH 2,7) и хромовая кислота  $H_2CrO_4$  ( $C_{исх} = 0,1$  мг/мл, pH 2,3).

Результаты свидетельствуют о том, что полученные образцы по сорбционной способности в отношении тяжелых металлов значительно превосходят полифепан и активный уголь, причем сами исходные растительные материалы имеют достаточно высокие показатели, возрастающие после модификации. Наибольшей сорбционной способностью обладают образцы, полученные гидролизом 1,5 %-й  $H_2SO_4$ . В ходе экспериментов для этих сорбентов определены следующие физико-химические характеристики: обменная емкость, удельная поверхность, сорбция-десорбция  $Th^{232}$ ; получены изотермы сорбции метиленовой сини, Fe(III) и Cr(VI); изучена кинетика этих процессов.

Таблица 2

**Сорбция (%) катионов металлов исходным сырьем и сорбентами на его основе**

8\*

Образец	Fe(III)	Cr (IV)
Овес	3,0	5,0
ОС-К	30,1	44,0
ОС-Н	17,8	9,6
Пшеница	3,0	7,0
ПС-К	33,0	44,0
ПС-Н	29,0	14,4
Рожь	4,0	7,0
РС-К	41,0	50,0
Активный уголь	8,5	–
Полифепан	14,2	–

Полная обменная емкость сорбционных материалов определяется количеством активных ионогенных групп, входящих в состав ионита. Она является постоянной величиной, соответствующей состоянию предельного насыщения всех способных к ионнообмену активных групп обмениваемых ионов. Обменную емкость образцов определяли по методу [8], при этом образцы сорбентов находились в контакте с постоянным объемом рабочего раствора в течение 1 сут.

Полученные результаты показали, что обменная емкость сорбентов ( $Y$ ) значительно выше, чем у исходного растительного сырья (рис. 2).

Удельная поверхность твердого пористого тела относится к числу основных физико-химических характеристик, определяющих протекание многих поверхностных массообменных процессов, в частности сорбционных (табл. 3). Ее рассчитывали по методике [18], исходя из сорбции метиленовой сини.

Из данных табл. 3 видно, что значения удельной поверхности образцов  $S_{уд}$  полученных нами сорбентов несколько больше, чем у активного угля, и в 4, 6 и 27 раз выше, чем у полифепана, измельченной древесной зелени и еловой хвои. Основные сведения о характере сорбции могут быть получены из изотерм сорбции, характеризующих зависимость сорбционной способности материала от концентрации поглощаемого компонента при постоянной

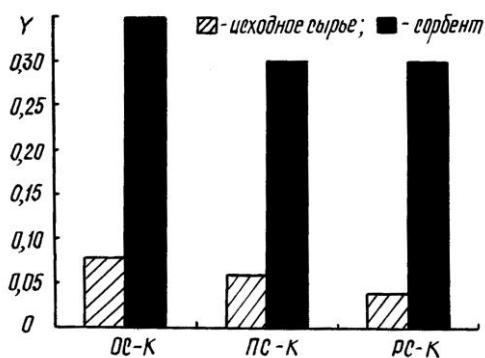


Рис. 2. Обменная емкость (мг-экв/г) сорбентов ОС-К, ПС-К и РС-К в сравнении с исходным растительным сырьем

Таблица 3  
Удельная поверхность  $S_{уд}$  образцов растительных сорбентов

Образец	$S_{уд} \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2/\text{кг}$
ОС-К	9,3
ОР-К	9,0
ПС-К	9,2
Активный уголь	7,9
Полифепан	2,1
Измельченная древесная зелень[18]	1,4
Еловая хвоя [18]	0,3

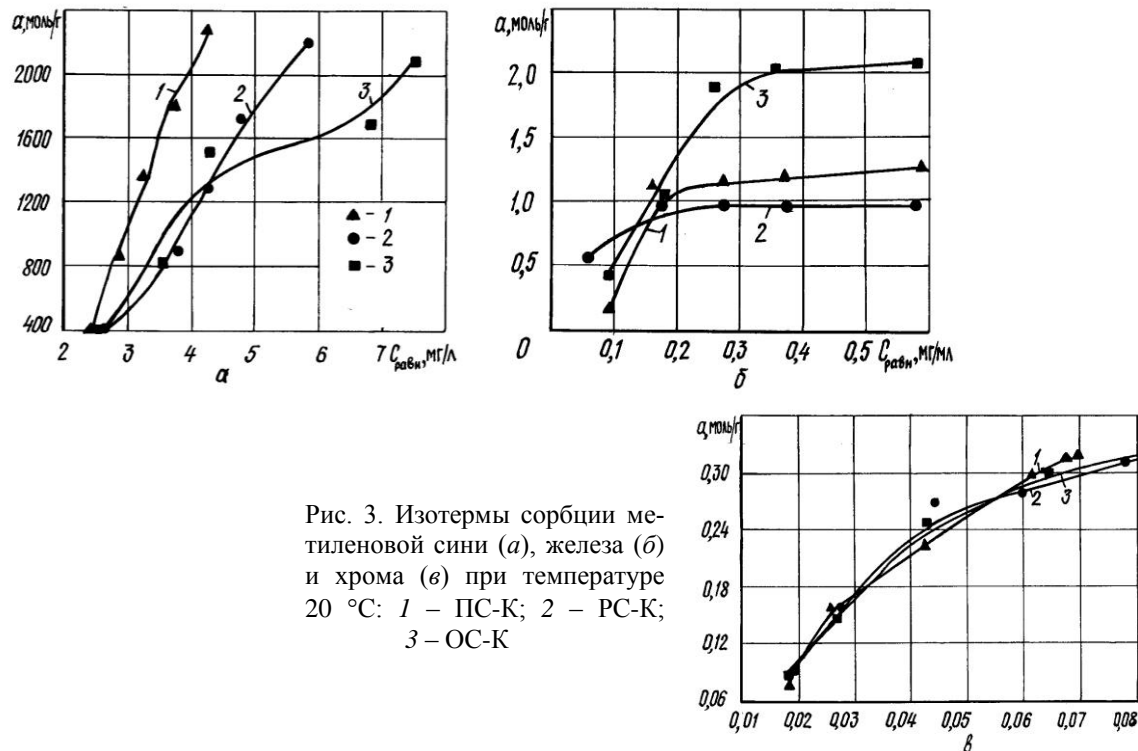


Рис. 3. Изотермы сорбции метиленовой сини (а), железа (б) и хрома (в) при температуре 20 °С: 1 – ПС-К; 2 – РС-К; 3 – ОС-К

температуре [14]. По характеру зависимостей сорбции  $\alpha$  метиленовой сини образцами сорбентов на основе овсяной, ржаной и пшеничной соломы (рис. 3, а) можно заключить, что все полученные сорбенты обладают неоднородно-пористой структурой. В изученных пределах концентраций отмечен достаточно равномерный рост сорбции метиленовой сини. Максимальное поглощение катионов железа из растворов наблюдается в области равновесной концентрации  $C_{\text{равн}} \sim 0,3$  мг/мл, хрома  $\sim 0,04 \dots 0,05$  мг/мл (рис. 3, б, в). Значения концентраций, при которых наступает насыщение, коррелируют с результатами, приведенными в табл. 2.



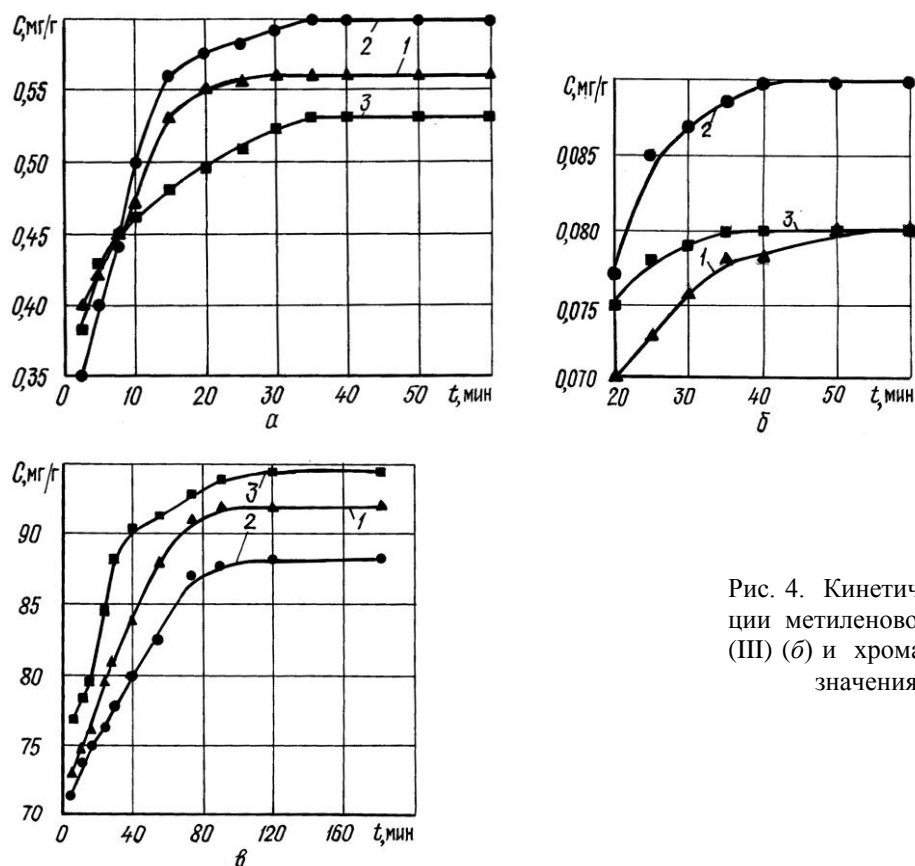


Рис. 4. Кинетические кривые сорбции метиленовой сини (а), железа (III) (б) и хрома (VI) (в) (см. обозначения на рис. 3)

Кинетику сорбции катионов металлов и метиленовой сини исследовали при различной продолжительности контакта образцов сорбентов с водными растворами  $\text{FeCl}_3$  ( $C_{\text{исх}} = 0,8$  мг/мл),  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  ( $C_{\text{исх}} = 0,1$  мг/мл) и метиленовой сини ( $C_{\text{исх}} = 100$  мг/л) до полного насыщения сорбента. Процесс сорбции исследовали путем отбора проб через определенные промежутки времени и измерения остаточной концентрации  $C$  катионов металлов и метиленовой сини в растворе [4].

Представленные на рис. 4 кинетические кривые сорбции железа, хрома и метиленовой сини образцами сорбентов указывают, что после установления равновесия процесс сорбции перестает зависеть от времени  $t$ : соответствующие участки кривых идут параллельно оси  $t$ . За первые 25 мин из раствора всеми сорбентами сорбируется большая часть железа и хрома, в среднем через 30 мин наступает равновесие. В случае с метиленовой синью полное насыщение наступает только через 90 мин. Таким образом, катионы металлов сорбируются полученными образцами быстрее, чем метиленовая синь.

В табл. 4 представлены данные по сорбции-десорбции изотопа  $\text{Th}^{232}$  для некоторых сорбентов, полученных по приведенной ранее схеме (см. рис. 1). Для определения емкости поглощения навески сорбентов в ста-

Таблица 4

Сорбция-десорбция Th<sup>232</sup> образцами на основе овсяной соломы

Образцы, прошедшие обработку	Сорбировано, % от введенного*	Десорбировано, % от поглощенного			Зафиксировано, % от поглощенного
		H <sub>2</sub> O	1М CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	1М HCl	
1,5 %-й H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	95,0	0	27,5	21,2	51,3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	83,0	0	7,5	16,9	75,6
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH + K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	72,0	0	0	63,7	35,3
2 н NaOH (2 ч)	100,0	12,0	18,0	15,0	55,0
2 н NaOH (5 ч)	100,0	0	0	11,6	88,4

тических условиях насыщали радионуклидами путем многократного повторения этапов сорбции вплоть до прекращения поглощения. Сорбцию вели из растворов хлорида тория с активностью 16,1 Бк/л. Кислотность торийсодержащих растворов доводили до pH 4. Величину реальной статической емкости рассчитывали исходя из убыли активности радионуклидов в жидкой фазе. Прочность поглощения оценивали по результатам измерения содержания радионуклидов в вытяжках, полученных последовательной обработкой отделенных от жидкой фазы сорбентов дистиллированной водой (слабосвязанные радионуклиды), 1 М растворами ацетата аммония (замещаемые или обменные) и соляной кислоты (прочно связанные). Время экспозиции в каждом из сорбционно-десорбционных опытов составляло 1 сут. Содержание тория определяли фотометрическим методом [17].

Приведенные данные свидетельствуют о высокой сорбционной способности полученных сорбентов. Количество фиксированного изотопа составляет ~ 35 ... 88 %, что свидетельствует о прочном связывании поглощенного радионуклида. Следовательно, при практическом использовании данных сорбентов не будет происходить вторичного (обратного) загрязнения рабочей среды. Например, цеолиты, как правило, при высоких показателях сорбции радионуклидов из растворов характеризуются значительной десорбцией [15].

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что недревесное растительное сырье – однолетние злаковые – являются перспективным источником для получения сорбционных материалов, которые характеризуются рядом преимуществ по сравнению с традиционно используемыми сорбентами. К ним относятся: экологическая чистота, низкая себестоимость, доступность сырьевой базы, высокие физико-химические и сорбционно-десорбционные характеристики.

Полученные сорбенты могут найти применение в самых различных отраслях народного хозяйства, в том числе в пищевой промышленности (очистка жидких продуктов питания), фармакологии, ветеринарии, сельском хозяйстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляева Е.Ю.* Применение целлюлозы в решении экологических проблем / Е.Ю. Беляева, Л.Е. Беляева // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2000. – № 8. – С. 755–761.
2. *Закис Г.Ф.* Функциональный анализ лигнинов и их производных / Г.Ф. Закис. – Рига: Зинатне, 1987. – 87 с.
3. *Казанцев Е.А.* Сорбционные материалы на носителях в технологии обработки воды / Е.А. Казанцев, В.П. Ремез // *Химия и технология воды*. – 1995. – Т. 17, № 1. – С. 50–60.
4. *Казанцев Е.И.* Ионообменные материалы, их синтез и свойства / Е.И. Казанцев, В.С. Пахолков, З.Ю. Кокошко, О.Н. Чупахин. – Свердловск: Изд-во УПИ, 1969. – 150 с.
5. *Меркулова М.Ф.* Характеристика лигнина травянистых растений семейства злаковых // *Химия высокомолекулярных соединений, лесохимия и органический синтез*: Тр. Коми НЦ УрО РАН / М.Ф. Меркулова, Л.И. Данилова, Л.С. Кочева и др. – Сыктывкар, 2002. – № 167 – С. 67–71.
6. *Москалева В.Е.* Диагностические признаки недревесных растительных и химических волокон / В.Е.Москалева, З.Е.Брянцева, Е.В.Гончарова и др.; под ред. Н.П. Зотовой-Спановской. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 120 с.
7. *Оболенская А.В.* Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская, В.П. Щеголев, Г.Л. Аким и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 412 с.
8. *Ольшанова К.М.* Руководство по ионообменной, распределительной и осадочной хроматографии / К.М. Ольшанова, В.Н. Антонова, В.Д. Копылова и др. – М.: Химия, 1965. – 200 с.
9. Пат. 2021009 РФ. Способ получения композитных сорбентов на основе целлюлозных носителей / Ремез В.П. – Заявл. 15.09.94; приоритет 08.10.92.
10. Пат. 2062646 РФ. Способ получения сорбентов / Величко Б.А., Шутова Л.А., Абрамова Г.В. // Бюл. изобрет. – 1996. – № 18.
11. Пат. 2062647 РФ. Способ получения сорбентов радионуклидов и тяжелых металлов / Величко Б.А., Абрамова Г.В., Шутова Л.А. и др. // Бюл. изобрет. – 1996. – № 18.
12. Пат. 2079359 РФ. Способ получения сорбентов / Величко Б.А., Шутова Л.А., Рыжакова А.А. и др. // Бюл. изобрет. – 1997. – № 14.
13. Пат. 2089284 РФ. Способ получения сорбента из лигноцеллюлозного сырья / Еперин А.П., Климентов А.С., Кириллов Н.А. и др. // Бюл. изобрет. – 1997. – № 25.
14. Практикум по коллоидной химии и электронной микроскопии / Под ред. С.С. Воюцкого и Р.М. Панич. – М.: Химия, 1974. – 224 с.
15. *Рачкова Н.Г.* Способность альцимсодержащей породы Тиманской цеолитоносной провинции и сорбентов на основе растительной ткани к поглощению урана, радия и тория из водных растворов // *Радиоэкологические и биологические последствия низкоинтенсивных воздействий*: Тр. Коми НЦ УрО РАН / Н.Г. Рачкова, И.И. Шуктомова, А.П. Карманов и др. – Сыктывкар, 2003. – № 172. – С. 67–80.
16. *Ремез В.П.* Охрана окружающей среды от радиоактивных загрязнений на основе создания и применения целлюлозно-неорганических сорбентов: Автореф. дисс.... д-ра. техн. наук / В.П. Ремез. – Екатеринбург, 1999. – 48 с.

17. *Старик И.Е.* Основы радиохимии / И.Е. Старик. – Л., 1969. – 247 с.  
18. *Ягодин В.И.* Методика определения удельной поверхности измельченной древесной зелени / В.И. Ягодин, В.И. Антонов // Изучение химического состава древесной зелени: методич. основы – Рига, 1983. – С. 33–38.

Институт химии Коми НЦ УрО РАН  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Поступила 27.06.04

*O.V. Brovarova, L.S. Kocheva, A.P. Karmanov,  
I.I. Shuktomova, N.G. Rachkova*

**Investigation of Physicochemical Properties of Sorbents Based on Vegetable Raw Material**

Results of new sorbents development for heavy and radioactive metals based on vegetable raw material (oats, rye and wheat straw) are presented.



УДК. 676.014

**О.Г. Авакова, К.Г. Боголицын**

Авакова Ольга Гарриевна родилась в 1980 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии. Область научных интересов – химические, физико-химические свойства и структура органической составляющей низших растений.



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии АГТУ, академик МАНЭБ и РАИН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области физико-химических процессов переработки древесины.



**РАСТИТЕЛЬНАЯ КЛЕТЧАТКА: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ\***

Рассмотрены сходство и различия структуры и свойств целлюлозы бурых водорослей и высших растений, обуславливающие особенности их применения; приведена краткая характеристика основных методов их изучения.

*Ключевые слова:* клетчатка, бурые водоросли, водорослевая целлюлоза, микрокристаллическая целлюлоза, структура, химический состав.

Водоросли – это древнейшие фотосинтезирующие организмы. К ним относятся низшие растения, обитающие в водоемах, почве или других влажных местах.

Многие виды водорослей применяют в пищевых целях, а также в традиционной и нетрадиционной медицине. В основе лечебных свойств бурых водорослей лежит их уникальный биохимический состав, полностью покрывающий потребность человеческого организма в экзогенных биологически активных веществах (БАВ). Это обусловлено тем, что человеческий организм стремится к сохранению некоторых гомеостатических показателей

---

\* Работа выполнена в рамках гранта для поддержки работы аспирантов высших учебных заведений Минобразования России АОЗ-2.11-681 «Изучение строения и свойств энтеросорбентов, выделенных из бурых водорослей».

жидкостей (рН крови, ее электролитный состав и др.), сходных с составом морской воды. При этом принимают во внимание не количество каких-либо элементов, а их соотношение [18]. Поэтому сейчас уделяется большое внимание исследованию состава и свойств веществ, содержащихся в морских водорослях.

#### *Химический состав бурых водорослей*

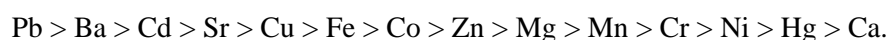
Бурые водоросли (*Phaeophycophyta*) распространены почти исключительно в морях, они по внешнему виду напоминают высшие растения. Представители бурых морских водорослей имеют желтовато-бурую окраску слоевищ, обусловленную наличием хлорофилла и каротиноидов, а также коричневого пигмента из группы ксантофиллов – фукоксантинина. Их вегетативное тело (таллом) имеет сложное внутреннее и наружное строение. Таллом состоит из несколько типов тканей, выполняющих различные функции [15].

Химический состав бурых водорослей очень сильно зависит от вида, времени года и места обитания. Они содержат до 70 % углеводов, 1 ... 3 % липидов, 5 ... 15 % белков, 20 ... 50 % (от сухого веса) зола и др.

Литературные данные свидетельствуют об отсутствии в бурых водорослях свободных восстанавливающих сахаров, однако они содержат значительное количество низкомолекулярных углеводов. Это, в основном, сахарный спирт маннит и его производные (маннитан, ламинаробиоза, ламинит и др.). Максимальное содержание маннита наблюдается в летние месяцы – до 25 % от сухого веса [3].

Из полисахаридов наибольшую ценность представляют альгиновая кислота и ее производные, содержащиеся в клеточных стенках всех крупных бурых водорослей, в основном, в виде кальциевых, магниевых и железистых солей. В морской капусте (*Laminaria saccharina*) их найдено от 11 до 40 % (в редких случаях до 60 %) от массы сухого вещества. Альгиновая кислота является полианионом с разветвленными линейными макромолекулами, которые построены из остатков двух мономеров:  $\beta$ -D-маннурановой и  $\alpha$ -L-гулурановой кислот, связанных 1-4-связями. Распределение мономеров вдоль цепи носит блочный характер. В молекулах альгиновой кислоты найдены блоки трех типов: последовательности из остатков  $\beta$ -D-маннурановой кислоты,  $\alpha$ -L-гулурановой кислоты и чередующиеся последовательности из остатков двух этих кислот. Альгиновая кислота имеет высокое сродство к свинцу, кадмию и стронцию, образуя стойкие комплексные соединения с радиоактивными элементами, тяжелыми металлами и их солями, связывается с вирусами гриппа А и В. Альгинат кальция обладает хорошими гомеостатическими и вяжущими свойствами, антибластоминной активностью, которая заключается в замедлении роста злокачественных опухолей, а также эмульгирующей способностью. Кроме того, альгиновая кислота и ее соли способствуют расщеплению твердых лекарственных форм в желудочно-кишечном тракте [10, 11].

Фуциновая кислота содержится в водорослях преимущественно в виде кальциевой соли – фукоидина. Состав фуциновой кислоты неизвестен, однако на основании некоторых работ можно предположить наличие в ее молекуле уроновых кислот (от 4 до 20 %). Очень важным свойством фукоидина является их онкопротективная способность. Кроме того, установлено, что фукоидин способен ингибировать действие некоторых вирусов, в частности, вируса иммунодефицита человека [13]. Фукоидин обладает высоким сродством к двухвалентным катионам тяжелых металлов, которые располагаются в следующий ряд:



Ламинарин, или водорослевый крахмал, является запасным углеводом этого типа растений, его содержание не превышает 10 ... 15 %.

Липиды бурых водорослей преимущественно представлены триглицеридами жирных кислот. Основную их массу составляют ненасыщенные кислоты с 18–20 атомами углерода в молекуле.

Основное азотсодержащее вещество бурых водорослей – белки, которые имеют обычный набор аминокислот с небольшими количественными и качественными колебаниями. Например, у *Laminaria saccharina* отсутствуют метионин и лизин. Бурые водоросли отличаются от других растений присутствием йодаминокислот, в основном моно- и дийодтирозина, дийодтиронина и йодтироксина [3].

На протяжении многих лет оставался невыясненным вопрос о существовании лигнина в водорослях. Так, В.М. Резников, изучая негидролизуемые вещества, полученные из *Laminaria digitata*, *Laminaria japonica* и *Fucus vesiculosus*, пришел к выводу, что по мере усложнения организации растения количество лигнина в его составе возрастает. С.М. Манская в негидролизуемом остатке после нитробензольного окисления *Fucus serratus* обнаружила лишь следы ванилина и, основываясь на этих данных, сделала заключение об отсутствии лигнина в бурых водорослях [7, 14].

В настоящее время на основании работ ряда исследователей сделан вывод о том, что бурые водоросли содержат негидролизуемые вещества, близкие по элементному составу к лигнинам высших растений [5]. Содержание лигниноподобных веществ, определенное по методу Класона, составляет от 15 до 32 % в зависимости от вида и возраста водорослей, по методу Попова – 19 % [4]. Однако, несмотря на то, что лигниноподобные вещества бурых водорослей охарактеризованы количественно, их элементный состав до сих пор остается практически неизученным.

Бурые водоросли содержат от 2 ... 5 до 17 % водорослевой целлюлозы, которую, в силу некоторых отличий от обычной, называют эуцеллюлозой [3, 20].

*Химический состав и методы исследования структуры  
водорослевой целлюлозы*

При исследовании было установлено, что сырые волокна водорослевой целлюлозы очень малы и имеют форму неправильных чешуек. Более подробное изучение показало, что водорослевая целлюлоза по своему строению близка к целлюлозе высших растений. Она окрашивается йодом в йодистом калии и серной кислоте в синий цвет, но не меняет окраски в зависимости от концентрации серной кислоты; легко растворяется в реактиве Швейцера и дает обычные для целлюлозы цветные реакции с хлорцинк-йодом; при гидролизе образует 80 % глюкозы. Ее сходство с обычной целлюлозой доказано получением и исследованием свойств ацетил- и метил-производных. На основании опытных данных было высказано предположение о существовании  $\beta$ -1,4-связи в водорослевой целлюлозе, что и было подтверждено периодатным окислением [2, 3].

Полученные результаты позволяют предполагать, что для изучения строения и свойств водорослевой целлюлозы можно использовать те же методы, что и для целлюлозы высших растений.

При исследовании структуры полисахаридов в первую очередь применяют химические методы, а после получения определенных сведений о структуре цепи используют и другие [4, 17].

Анализ продуктов полного гидролиза целлюлозы позволил установить, что элементарным звеном ее макромолекулы является ангидро-*D*-глюкоза. Идентификация продуктов полной этерификации доказывает, что макромолекула целлюлозы содержит три свободные гидроксильные группы. Была получена триметилцеллюлоза, гидролиз которой с последующей идентификацией продуктов дал возможность установить положение свободных гидроксильных групп у атомов углерода и отсутствие разветвлений в макромолекулярной цепи. При изучении продуктов частичного гидролиза целлюлозы определен тип связи между элементарными звеньями макромолекулы, сделаны достаточно обоснованные выводы о ее строении [23].

Одна из важнейших характеристик полимера – молекулярный вес, а поскольку целлюлоза является линейным гомополимером с одинаковыми звеньями и связями, размеры ее макромолекулы характеризуют степень полимеризации (СП). Все методы определения СП (молекулярной массы) можно разделить на химические и физико-химические [12].

Химическими методами (методы концевых групп) можно определять среднечисленное значение молекулярной массы  $M_n$ , однако из-за низкой точности в химии целлюлозы их применяют только для качественной характеристики технической целлюлозы. Физико-химические методы основаны на изменении свойств макромолекул целлюлозы в растворах. Физические методы в зависимости от измеряемых свойств подразделяются на термодинамические, молекулярно-кинетические и оптические. Кроме того, все эти методы делятся на абсолютные и косвенные.

В абсолютных термодинамических методах определяют осмотическое давление (осмометром), в молекулярно-кинетических – скорость седиментации (на ультрацентрифуге), в оптических – интенсивность светорассеяния (фотометром рассеяния). Наиболее информативным является



метод седиментации в ультрацентрифуге, позволяющий получить средне-массовую молекулярную массу и дающий полную характеристику молекулярно-массового распределения (ММР) целлюлозы и ее гидродинамические параметры [8].

При определении СП целлюлозы с помощью абсолютных физико-химических методов необходимо принимать во внимание, что взаимодействие целлюлозы с растворителем может привести к снижению молекулярной массы. Важное условие при этом – раствор целлюлозы должен быть истинным, что возможно при очень малых концентрациях. Кроме того, возникают трудности, свойственные только этим методам.

Наиболее простым и доступным методом, представляющим практический интерес в широком диапазоне молекулярных масс, является косвенная вискозиметрия, однако она не очень точна.

Как и все высокомолекулярные соединения, целлюлоза полидисперсна. Наиболее полно полидисперсность целлюлозы можно описать с помощью функций распределения по молекулярным массам – функций ММР [19]. Неоднородность по молекулярной массе определяют методами фракционирования, т. е. разделения образцов на фракции.

По задачам и принципам методы фракционирования разделяются на аналитические и препаративные. Цель аналитического фракционирования – определение ММР без выделения фракций. При препаративном фракционировании фракции выделяют в виде препаратов, определяют их выход и молекулярную массу или СП. По полученным данным рассчитывают ММР [12].

К аналитическим методам относят седиментацию в ультрацентрифуге, турбидиметрическое титрование и термодиффузию, к препаративным – методы фракционного осаждения и распределения между двумя несмешивающимися жидкостями. Методы фракционного растворения, хроматографической адсорбции и гель-проникающей хроматографии могут быть использованы как в аналитическом, так и в препаративном варианте.

Наибольшее практическое применение нашли методы фракционного осаждения и растворения. Физический принцип этих методов основан на зависимости растворимости полимера от его молекулярной массы или СП: с увеличением СП растворимость уменьшается [12].

Если образцы ориентированные, то применяют рентгеноструктурный анализ и инфракрасную спектроскопию в поляризованном свете. Рентгенографические исследования позволяют определить период идентичности волокна и выбрать наиболее вероятную конформацию цепи кристаллического полимера. Дальнейшие сведения можно получить с помощью метода инфракрасной спектроскопии в поляризованном свете, который практически незаменим при выяснении характера межмолекулярных водородных связей в кристаллических полимерах [12, 16, 17].

Исследуя структуру и свойства водорослевой клетчатки, необходимо учитывать некоторые особенности данного препарата. Водорослевая клетчатка содержит остаточное количество альгиновой кислоты, которая при

$\text{pH} < 5,5$  склонна к гелеобразованию. Это чрезвычайно затрудняет процесс фильтрования растворов и проведение вискозиметрических измерений. Кроме того, водорослевая клетчатка содержит хлорофилл и другие пигменты, которые окрашивают водные растворы в ярко-зеленый цвет. Поэтому колориметрические методы для нее неприемлемы. Из-за содержания лигниноподобных веществ для водорослевой клетчатки используют не все растворители, применяемые в исследованиях целлюлозы высших растений.

Физическая структура волокон и наличие ОН-групп являются основными факторами, определяющими сорбционную способность целлюлозы. Для нее характерна развитая капиллярно-пористая система. Кроме того, изучение процессов сорбции в системе целлюлоза–вода позволяет получить дополнительные сведения о структуре и свойствах целлюлозы [23, 27].

Наличие внутрифибриллярных нерегулярностей упаковки, межфибриллярных пустот, а также каналов и макропор способствует протеканию капиллярного поглощения влаги и истинной сорбции. Именно процессы сорбции и набухания обуславливают высокую гигроскопичность целлюлозы. В настоящее время существует две гипотезы, объясняющие механизм сорбции паров воды целлюлозой.

В первом случае целлюлозу рассматривают как сорбент с развитыми внутренней поверхностью и капиллярной системой. Сначала на ее поверхности образуется мономолекулярный слой, а затем – полимолекулярные слои, и происходит капиллярная конденсация. Для описания такой сорбции применяют уравнение Брунауэра–Эммета–Тэллера. Площадь внутренней поверхности целлюлозы вычисляют по количеству адсорбированной в мономолекулярном слое воды, по изотерме десорбции находят объем субмикроскопических капилляров в целлюлозе.

Во втором случае целлюлозу представляют как ограниченно набухающий гель, что обусловлено наличием кристаллических областей. При взаимодействии с водой образуется твердый раствор благодаря проникновению молекул воды в целлюлозу и образованию водородных связей с доступными гидроксильными группами. Сорбция в этом случае описывается уравнением Хайлвуда–Хорробина [17, 23].

Температура оказывает отрицательное влияние на сорбцию воды. Максимальное количество воды целлюлоза сорбирует при температуре 5 ... 18 °С.

В настоящее время для определения термодинамических характеристик процесса сорбции воды целлюлозой широко используют прямые калориметрические определения. Это позволяет получить более достоверные значения энтальпии сорбции, а также более точные значения энтропии и стандартной энергии Гиббса для процессов взаимодействия целлюлозы и воды [22].

При рентгенографическом исследовании надмолекулярной структуры целлюлозы было установлено, что количество сорбированной воды определяется количеством аморфной целлюлозы, а в кристаллические области целлюлозы молекулы воды не проникают. Это было подтверждено и кало-

риметрическими исследованиями. Количество аморфной целлюлозы можно приблизительно оценить по так называемому отношению сорбции, определяемому как количество влаги, сорбированной образцом при определенном значении относительного давления (в интервале от 0,1 до 0,7), отнесенного к количеству влаги, сорбированной стандартной целлюлозой при том же значении относительного давления. У полностью аморфной целлюлозы эта величина составляет 2,12 [20, 23].

Проанализировав существующие теории сорбции, можно отметить, что способность целлюлозы сорбировать воду определяется содержанием в ней большого количества полярных гидроксильных групп, способных к образованию водородных связей с молекулами воды. В начале процесса основное количество воды связано водородными связями, далее происходит образование твердого раствора воды в аморфных частях целлюлозы, а также полимолекулярная адсорбция на развитой внутренней поверхности целлюлозы. При больших значениях относительного давления определенную роль играет и капиллярная конденсация, но ее удельный вес в процессе сорбции во многом определяется надмолекулярной структурой образца.

В свою очередь сорбция вызывает изменения внутренней поверхности и капиллярной системы целлюлозы, а также приводит к изменениям в ее надмолекулярной структуре. Методами рентгенографии и ИК-спектроскопии установлено, что степень кристалличности целлюлозы при сорбции воды понижается, одновременно увеличивается ориентация кристаллических областей целлюлозы в регенерированной целлюлозе и волокнах однолетних растений. Это объясняется исчезновением внутренних напряжений в целлюлозе при сорбции. Молекулы воды, проникая между макромолекулами целлюлозы в менее упорядоченных областях, раздвигают их [23].

Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) отличается от обычной тем, что состоит из отдельных высококристаллических агрегатов, содержащих сотни и тысячи макромолекул [20]. Данный препарат получил широкое распространение в медицине и фармакологии и в настоящее время успешно используется как энтеросорбент для выведения тяжелых металлов из организма [21].

При исследовании сорбционной способности МКЦ по отношению к воде были учтены следующие аспекты [24]:

природные взаимодействия, т.е. их обратимость, для изучения которой была использована температурно-временная зависимость десорбции, полученная термогравиметрическим анализом;

максимальное количество сорбированной из насыщенных паров воды при заданной температуре.

Количество сорбированной воды при насыщении составляет 0,45 г на 1 г сухой МКЦ, что соответствует 4,09 моль  $H_2O$  на 1 гликозидную единицу. Важно отметить, что данная адсорбция является полностью обратимой. Около 80 % конечного количества воды выделяется в течение первых 24 ч. десорбции, а исходный вес восстанавливается после 150 ... 160 ч [25].

Процесс десорбции протекает в две стадии. Во время начальной, или быстрой, стадии десорбируется вода, связанная с «плотным» полислоем воды. Остаточная влага, десорбирующаяся на второй стадии, может представлять количество воды, адсорбированное в монослое. Температура, по видимому, не является ключевым параметром, влияющим на дегидратацию образцов. Время при данной температуре является параметром контроля скорости десорбции воды [25, 26].

На основании данных исследований можно заключить, что взаимодействия, способствующие гидратации, имеются во всех случаях физических взаимодействий (возможно взаимодействиях Ван-дер-Ваальса), обусловленных водородными мостиками. Можно предположить следующие типы связывания воды [24, 28]:

наименее связанная вода, адсорбированная в полислоях посредством водно-водных взаимодействий;

вода, адсорбированная на поверхности МКЦ, образующей монослой посредством водородных связей;

вода, содержащаяся в объемной структуре, возможно «растворенная» в трехмерных кластерах, которая отщепляется только при медленных диффузионных процессах.

На водорослевой клетчатке подобные исследования не проводились. Однако изучение имеющихся данных по ее строению и свойствам [3, 6] позволяет предполагать возможность применения для данного препарата тех же подходов, что и для целлюлозы высших растений и МКЦ.

#### *Выводы*

Основной составляющей водорослевой клетчатки является водорослевая целлюлоза, сходная по строению с целлюлозой высших растений.

Для изучения структуры и свойств водорослевой клетчатки возможно применение тех же подходов, что и для целлюлозы высших растений, но при этом необходимо принимать во внимание наличие в ней других компонентов, что требует корректировки методов исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросимов В.К.* Биологически активные вещества в растворах: Структура, термодинамика, реакционная способность / В.К. Абросимов [и др.]. – М.: Наука, 2001. – С. 3–8.
2. *Авакова О.Г.* Изучение состава и физико-химических свойств препаратов, выделенных из бурых водорослей / О.Г. Авакова // Материалы междунар. конф. студентов и аспирантов по фундамент. наукам «Ломоносов – 2003». – Москва, 2003. – Т.1. – С. 99.
3. *Барашков Г.К.* Химия водорослей / Г.К. Барашков. – М.: АН СССР, 1963. – 143 с.
4. *Грушников О.П.* Достижения и проблемы химии лигнина / О.П. Грушников, В.В. Елкин. – М.: Наука, 1973. – 296 с.

5. Довгань И.В. Выделение и исследование лигнинов бурой водоросли *Syctoseira barbata* / И.В. Довгань, З.Н. Крейцберг, Е.И. Медведева // Химия древесины. – 1982. – № 5. – С. 67–71.
6. Кочетков Н.К. Химия углеводов / Н.К. Кочетков [и др.]. – М.: Химия, 1967. – 672 с.
7. Манская С.М. Лигнин клеточной оболочки в эволюционном ряду растений / С.М. Манская // Химия и использование лигнина. – Рига: Зинатне, 1974. – С. 3–11
8. Методы исследования целлюлозы / Под ред. В.П. Карливаня. – Рига: Зинатне, 1981. – 258 с.
9. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде / Т.Миллер; перевод с англ. под ред. Г.А. Ягодина. – М.: Прогресс, 1993. – 256 с.
10. Оберюхтина И.А. Исследование реологических свойств растворов в процессе получения альгината натрия с целью снижения потерь целевого продукта с отходами данного производства / И.А. Оберюхтина [и др.] // Материалы междунар. молодеж. экологич. форума стран Баренц-региона. – Архангельск: АГТУ, 2001 – С. 134–135.
11. Оберюхтина И.А. Оценка существующих технологических параметров процесса получения альгината натрия из морских бурых водорослей *Laminaria digitata* с целью повышения выхода конечного продукта / И.А. Оберюхтина [и др.] // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. – Архангельск, 2001. – Вып. VII. – С. 129–132.
12. Оболенская А.В. Химия древесины / А.В. Оболенская, А.А. Леонович. – Л.: ЛТА, 1989. – 88 с.
13. Промысловые и перспективные для использования водоросли и безпозвоночные Баренцева и Белого морей. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. – 628 с.
14. Резников В.М. Лигнин низкоорганизованных растений. IV. Выделение и исследование лигнина водорослей / В.М. Резников, М.Ф. Михасева // Химия древесины. – 1976. – № 4. – С. 76–79.
15. Рейвн П. Современная ботаника: В 2-х т. / П. Рейвн, Р. Эверт, С. Айкхорн; пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 348 с.
16. Роговин З.А. Химические превращения и модификация целлюлозы / З.А. Роговин, Л.Г. Гальбрайх. – М.: Химия, 1979. – 206 с.
17. Роговин З.А. Химия целлюлозы / З.А. Роговин. – М.: Химия, 1972. – 520 с.
18. Усов А.И. Полисахариды морских водорослей: проблемы изучения и использования / А.И. Усов // Биолог. актив. вещества мор. организмов: Тез. докл. Второго рабочего сов., Констанца, 4-10 дек. 1988 г.– М., 1989. – Вып. 1. – С. 97–111.
19. Фенгел Д. Древесина. Химия, ультраструктура, реакции / Д. Фенгел, Г. Вегенер пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 512 с.
20. Целлюлоза и ее производные / Под ред. Н. Байклза и Л. Сегала. – М.: Мир, 1974. – Т. 1. – 500 с.
21. Ardizzone S. Microcrystalline cellulose powders: structure, surface features and water sorption capability / S. Ardizzone [et. al.] // Cellulose. – 1999. – N 6. – P. 57–69.
22. Bogolitsyn K. A microcalorimetric technique for study of water vapour sorption on cellulose materials / K. Bogolitsyn, N. Volkova, I. Wadso // Cellulose and cellulose derivatives: physico-chemical aspects and industrial applications; Guest Editor L. Piculell. – Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1995. – 589 pp.

23. *Freudenberg K.* The relationship of cellulose to lignin in wood / K. Freudenberg // J. Chem. Educ. – 1932. – Vol. 9, N 7. – P. 1171–1180.

24. *Marshall, K.* Surface geometry of some microcrystal-line celluloses / K. Marshall, D. Sixsmith, N.G. Stanley // J. Pharmaceut. Pharmacol. – 1972. – 24 (suppl.). – P. 138.

25. *Nakai Y.* Crystallinity and physical characteristics of microcrystalline cellulose / Y. Nakai [et al.] // Chem. Pharm. Bull. – 1977 (a). – 25 (1). – P. 96–101.

26. *Plonka A.M.* Characteristics of microcrystalline and microfibrillar cellulose / A.M Plonka // Cellulose Chem. Technol. – 1982. – 16. – P. 473–484.

27. *Strnad S.* Correlation between structure and adsorption characteristics of oriented polymers / S. Strnad [et al.] // Mat. Res. Innovat. – 2001. – N 4. – P. 197–203.

28. *Van der Steeg, M.* Adsorption of cationic amylopectin on microcrystalline cellulose / M. Van der Steeg [et al.] // Colloids and Surfaces. – 1993. – 70. – P. 77–89.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.12.03

*O.G. Avakova, K.G. Bogolitsyn*

### **Vegetal Cellulose: Structure, Characteristics, Application**

Similarity and differences of structures and characteristics of brown algae cellulose and higher plants are studied, conditioning peculiarities of their application; brief characteristic of main methods for their study are given.

---



УДК 630\*9

*В.А. Чебарев***ИНВЕСТИЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

Рассмотрены вопросы привлечения инвестиций в ЛПК России. Отмечено несовершенство структуры ЛПК. Предложены инвестирование средств перерабатывающих предприятий в лесозаготовительные и создание ВИС.

*Ключевые слова:* инвестиции, реструктуризация, интегрирование, собственность.

Дискуссии о проблемах российского лесопромышленного комплекса, активно ведущиеся в последнее время в авторитетных кругах, имеют основанием серьезный дисбаланс между лесным потенциалом страны, с одной стороны, и текущим положением дел в лесной промышленности – с другой. Общая площадь лесных земель России составляет 1181,4 млн га, запас – 82,1 млрд м<sup>3</sup> древесины, однако доля в мировом объеме производства лесобумажной продукции не превышает 5 %.

В нашей стране ежегодно без экологического ущерба может заготавливаться и перерабатываться до 650 млн м<sup>3</sup> древесины. Начиная с 1994 г., этот показатель практически не превышает 130 млн м<sup>3</sup>. Объем вывозки древесины в России существенно меньше, чем в странах Северной Америки, и лишь немного превосходит показатель значительно более бедных лесом Швеции и Финляндии (рис. 1).

Лесопромышленный комплекс России более остро, чем другие отрасли промышленности, ощутил влияние экономического кризиса 1990-х гг. Снижение объемов производства в отрасли с 1993 г. существенно опережало общероссийские темпы сокращения выпуска продукции, причем с течением времени этот разрыв увеличился.

Посткризисное улучшение общеэкономической конъюнктуры позитивно отразилось на лесной промышленности. Уже в 1999 г. рост производства в отрасли достиг 118 % к уровню предыдущего года. Однако в дальнейшем развитие отрасли стало постепенно тормозиться в связи с резкой девальвацией рубля в 1998 г. В условиях стабильного курса национальной валюты предприятия комплекса лишились своего основного преимущества на мировом рынке – ценовой конкурентоспособности [5].

Материально-техническая база отрасли находится в крайне неудовлетворительном состоянии. Средний возраст машин и оборудования достигает 25 лет, износ большинства из них 70 ... 80 %, списанию подлежат более половины лесосечных машин и нижнескладского оборудования. В целлюлозно-бумажной промышленности только 5 % основного технологического оборудования соответствует мировому уровню, более 50 % требует модернизации, 45 % — полной замены. Фактические сроки

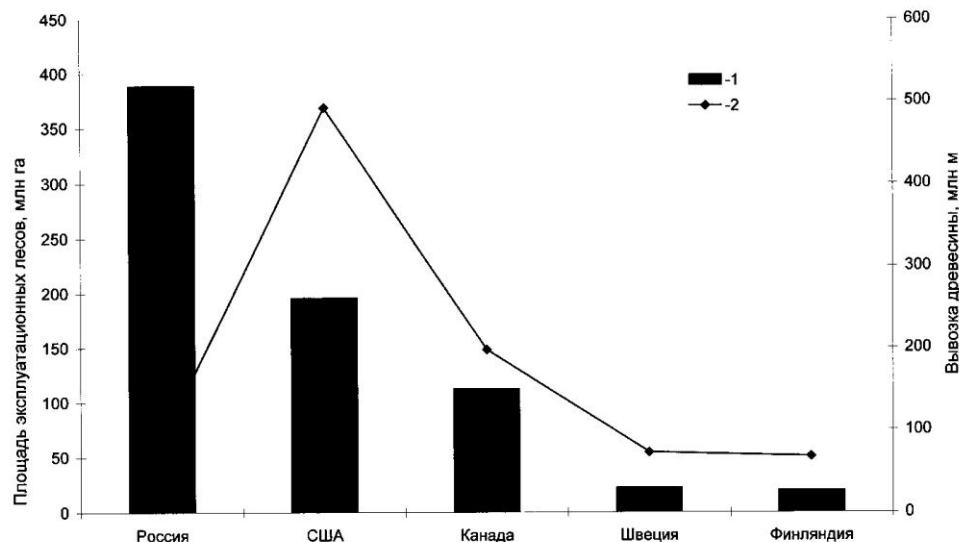


Рис. 1. Использование лесных ресурсов в России и странах с развитой лесной промышленностью за 2002 г.: 1 – площадь; 2 – вывозка

эксплуатации основного оборудования выше нормативных в среднем на 80 %. Объемы ввода нового оборудования и техники в два раза меньше выбывающих производственных фондов. Доля многих видов продукции, получаемой с применением прогрессивных технологических процессов, не превышает 10 % [2].

Продукция лесопромышленного комплекса традиционно являлась одной из значительных составляющих экспортного потенциала России. Ежегодно около 50 % произведенной продукции идет на экспорт (в 2001 г. получено от реализации около 4,4 млрд долларов США) [1]. Вместе с тем по сумме экспортной выручки Россия существенно отстает от лидеров мирового рынка лесобумажной продукции. Одной из причин отставания от ведущих участников рынка лесной и целлюлозно-бумажной продукции (США, Канада, Швеция, Финляндия) является сырьевая направленность экспорта: вывозятся преимущественно круглый лес и наиболее дешевые продукты деревообработки и целлюлозно-бумажных производств. По экспорту пиломатериалов и фанеры Россия опережает лишь Германию и Францию, не относящихся к богатым лесом странам.

Катастрофическое положение с устаревшими и изношенными основными фондами обрекает лесную промышленность РФ на роль сырьевой отрасли с низким уровнем рентабельности. Лесопромышленный комплекс РФ остро нуждается в масштабных инвестиционных проектах, рассчитанных на многие годы. По оценкам аналитиков, ежегодные инвестиции в отрасль должны составлять 20 ... 25 млрд р. В течение ближайших 15 лет необходимо привлечь не менее 1,5 трлн р. [5] Большая часть этих средств должна пойти на приобретение и модернизацию лесозаготовительной техники, строительство лесовозных дорог и развитие инфраструктуры, так как лесозаготовительная промышленность (базовая подотрасль комплекса) находится в наиболее тяжелом положении.

Объем ежегодных инвестиций в российский ЛПК в 2002 г. снизился с 17,3 до 16,2 млрд р. Это связано с ухудшением финансового положения предприятий, средства которых являются основным источником инвестиций в отрасли; на их долю в 2001 г. приходилось около 87 % суммарных капиталовложений [3].



Для зарубежных инвесторов лесной комплекс России остается малопривлекательным. В 2001 г. в лесопромышленный комплекс было направлено 241 млн долл. иностранных инвестиций, что на 16 млн долл. меньше уровня 2000 г. По данному показателю ЛПК уступает всем основным отраслям, почти в 6,6 раза отставая от наиболее привлекательной пищевой промышленности и в 2 раза — от цветной металлургии.

В последние годы инвестировать в российский ЛПК, в частности в целлюлозно-бумажную промышленность, стали крупные иностранные компании: ИКЕА (Швеция), Stora Enso (Финляндия), International Paper (США) и др. Однако не все случаи прямого иностранного инвестирования были успешными. В 1996 г. 57 % акций ОАО «Сегежабумпром» были приобретены компанией Stratton Group (США), принадлежащей концерну AssiDoman (Швеция). Вскоре после этого производство на комбинате было остановлено, предприятие объявлено банкротом, а контракты на поставку продукции (бумаги и бумажных мешков) достались европейским партнерам AssiDoman. В 1999 г. при содействии правительства Карелии акции комбината были переданы Сегежской управляющей компании, а его активы переведены во вновь созданное ОАО «Сегежский ЦБК». Серьезные проблемы в связи с иностранным участием в капитале испытал и Выборгский ЦБК.

Наряду с инвестированием в действующие предприятия иностранные компании все чаще вкладывают средства в создание новых производственных мощностей. Tetra Laval построила в России ряд предприятий по выпуску упаковки из бумаги и картона под маркой Tetra Pak. Новые предприятия по производству гофротары в России были построены компанией Stora Enso Packaging (Финляндия), Sappa Packaging (Нидерланды), SCA Packaging (Швеция). Сегодня на долю этих предприятий приходится уже более 15 % российского рынка гофротары [4].

Из множества неблагоприятных факторов, препятствующих притоку инвестиций в отрасль (неэффективность механизма доступа к лесным ресурсам, отсутствие надежной правовой защиты собственности, низкая доходность бизнеса, отсутствие специализированной машиностроительной базы и т. д.), особого внимания заслуживает нерациональная по формам собственности структура комплекса. Современная структура ЛПК России характеризуется несовершенством системы хозяйственных связей между предприятиями различных подотраслей. После перехода на рыночную форму хозяйствования многие связи между предприятиями были разрушены. Налаживание и оптимизация хозяйственных связей внутри ЛПК — основной момент управления предприятиями, поскольку все подотрасли комплекса находятся в тесной технологической зависимости.

Одним из вариантов оптимизации хозяйственных связей между предприятиями российского ЛПК является консолидация отрасли. Такие отрасли промышленности, как нефтяная, газовая, металлургическая, прошли путь реструктуризации, в результате чего сформировался ряд производственно-финансовых объединений, интегрировавших свои активы либо по горизонтальному, либо по вертикальному принципу взаимодействия.

Подавляющее большинство предприятий находится в частной собственности (рис. 2). В основном это мелкие компании. Если количество хозяйствующих субъектов предприятий частной формы собственности в отрасли составляет более 90 %, то их доля в общем объеме производства не превышает 41 %. Эти предприятия не обладают достаточным инвестиционным потенциалом и не являются привлекательными объектами для внешних инвесторов.

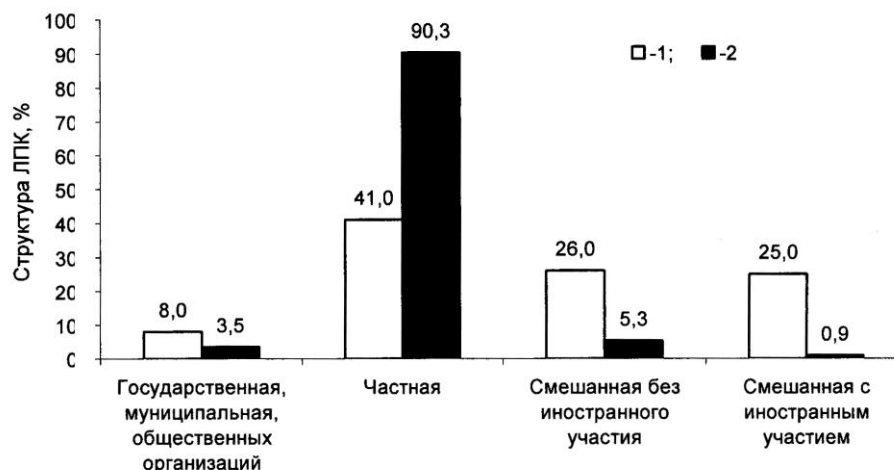


Рис. 2. Структура лесопромышленного комплекса России по формам собственности, %: 1 – по объему производства; 2 – по числу предприятий

Один из вариантов реструктуризации лесной промышленности предполагает формирование вертикально-интегрированных структур (ВИС), позволяющих в полной мере учесть технологические особенности производства в отрасли, связанные с необходимостью комплексной переработки древесного сырья и создания лесоперерабатывающих комплексов на территории России с учетом региональных особенностей.

В мире создание интегрированных лесопромышленных компаний происходило с начала 1970-х гг. На этой волне образовались такие крупнейшие компании, как американская International Paper, финские M-Real и Stora Enso, шведская SCA.

В России единственным сегментом лесного комплекса, где сохраняется тенденция к росту производства, является целлюлозно-бумажная промышленность. Эта подотрасль ЛПК в последние годы функционирует наиболее успешно. Выпуск целлюлозы, бумаги и картона стимулируется как расширением внутреннего рынка данной продукции, так и стабильным спросом со стороны зарубежных потребителей. Наиболее интенсивный рост отмечается в производстве картона. В отличие от других секторов переработки древесины выработка этих видов продукции в начале 2000 г. не только не снизилась, но и имела явные тенденции к увеличению. Вследствие этого создание ВИС в российском ЛПК, начавшееся в середине 1990-х гг., идет, как правило, на базе крупных целлюлозно-бумажных комбинатов (ЗАО «Илим Палп Энтерпрайз», группа компаний «Титан»), лесопильно-деревообрабатывающих заводов (концерн «Орими») и фанерных предприятий (группа компаний «Свеза»).

Наряду с этим в целлюлозно-бумажной промышленности России действуют несколько крупных независимых предприятий, основными владельцами которых является трудовой коллектив или менеджмент предприятия. В ОАО «Кондопога» 70 % акций владеет трудовой коллектив, 10 % – правительство Карелии. В ОАО «Соликамскбумпром» 75 % акций принадлежат менеджменту комбината, в том числе 51 % – лично генеральному директору [4].

Важной причиной, побуждающей к инвестированию в формирование ВИС в российском ЛПК, является доступ к лесным ресурсам. В России не выработана четкая политика в сфере аренды лесных участков. По современному законода-

тельству, решение о предоставлении во временное пользование лесных ресурсов принимается на уровне региональных властей, причем срок аренды в большинстве случаев ограничивается 3 ... 5 годами. Это приемлемо для сравнительно мелких лесозаготовителей, однако неэффективно для крупных компаний, заинтересованных в долгосрочном стабильном бизнесе и готовых вкладывать средства в лесовосстановление, требующее многих десятков лет.

Крупные лесопромышленные компании заинтересованы в приобретении в собственность лесозаготовительных предприятий. С экономической точки зрения это обусловлено значительным снижением транзакционных издержек при закупке сырья. Кроме того, приобретение в собственность леспромпхозов открывает более свободный доступ к лесу на корню как к основному сырью. Большинство крупных предприятий, входящих в состав ВИС, находятся в богатых лесом регионах России. Близость к источникам сырья, более свободный к ним доступ в сочетании с собственной высокотехнологичной лесозаготовительной базой значительно повышают эффективность функционирования головных предприятий.

Можно сделать вывод, что в настоящее время крупные ВИС в российском лесопромышленном комплексе станут одним из основных направлений инвестирования. Благодаря концентрации значительного объема инвестиционных ресурсов такие структуры будут способствовать развитию всех отраслей ЛПК, основываясь на принципах эффективного использования инвестированного капитала и комплексного использования лесных ресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков Б.М.* Основные направления развития лесной промышленности / Б.М. Большаков // Матер. департамента промышл. и инновац. политики в лесопромышл. комплексе Мин-ва пром-сти, науки и технологий РФ, 3 окт. 2002 г.
2. Еженедельник лесопромышленника. – 2003. – Вып. 3, 11.
3. Итоги работы лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности России за 2002 год: матер. агентства «Леспром Индастри Консалтинг».
4. Кому принадлежит Россия. Лесная промышленность // Коммерсантъ Власть. – 2002. – 29 янв.
5. Приоритеты развития лесного комплекса России: матер. рейтинг. агентства «Эксперт РА», 2002.

Государственный университет  
управления (г. Москва)

Поступила 20.06.04

*V.A. Chebarev*

#### **Investment Strategies of Forest-industrial Companies in Russia**

Questions of attracting investments to forest-industrial complex are considered. Imperfection of forest industry structure is pointed out. Investment of funds of woodworking companies into forest-harvesting ones and development of vertical-integrated structures are proposed.

---



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 621.1

**С.Г. Горохов, Э.Н. Сабуров, В.К. Любов**

Горохов Сергей Геннадьевич родился в 1976 г., окончил в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теплотехники АГТУ. Имеет 4 печатных работы в области аэродинамики сильно закрученных потоков.



Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета, академик Российской и Международной инженерных академий, Российской академии естественных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 300 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов тепломассообмена в аппаратах различного технологического назначения.



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.

**ЦИКЛОННЫЙ ПРЕДТОПОК ДЛЯ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ\***

Рассмотрены известные устройства для сжигания отходов переработки древесной биомассы; предложена новая оригинальная конструкция циклонного предтопка аналогичного назначения.

*Ключевые слова:* предтопок, циклонная камера, отходы, поток, скорость, энергетика.

---

\* Работа выполнена при поддержке администрации Архангельской области в рамках региональной научно-технической программы и программы «Поддержка научно-технической политики регионов» Минпромнауки.

В нашей стране и за рубежом непрерывно возрастает интерес к использованию органических веществ растительного происхождения в качестве топлива [1–32]. Связано это, прежде всего, с их возобновляемостью и экологической чистотой.

Основной ресурсной базой биотоплива в России являются отходы лесозаготовок, которые, как известно, составляют 40 ... 60 % объема заготавливаемой древесины, и отходы, образующиеся при ее переработке (горбыль, рейки, срезки, короткомер, стружка, опилки, древесная пыль, кора и др.).

Выбор технологии использования отходов растительной биомассы (древесина, торф) в энергетике определяется многими факторами, среди них наиболее важные – мощность установки, вид топлива и способ его подготовки. При рассмотрении технических и экономических аспектов этой проблемы следует учитывать, что для ее решения практический интерес представляют пока два возможных направления: прямое сжигание биомассы в специализированных топках и ее термохимическая газификация с последующим использованием генераторного газа в тепловых двигателях.

В отечественной энергетике для прямого сжигания используют обычно слоевые и циклонные топки. В 60-х годах широкое распространение получили топки скоростного горения с каскадными газовыми сушилками, предложенные В.В. Померанцевым [2]. Различные модификации этих топок, позволяющих сжигать биомассу с влажностью до 45 %, применяют и до настоящего времени. Среди более поздних разработок – котлы с переталкивающей решеткой и горячим дутьем НПО ЦКТИ, пригодные для сжигания различных видов биомассы и бытовых отходов.

За рубежом развивают и используют различные модификации слоевого сжигания, сжигания в кипящем слое и циркулирующем кипящем слое.

Для энергетических котлов средней мощности представляет интерес метод низкотемпературного вихревого сжигания. Сущность метода заключается в том, что в топке с помощью специально организованного воздушного дутья создается вихрь, в котором осуществляют сушку и сжигание топлива. Включения, не поддающиеся сжиганию, проваливаются в холодную воронку и удаляются. Процесс разработан в С.-Петербургском техническом университете совместно с другими организациями и опробован в опытно-промышленных условиях на отходах переработки древесины, гидролизном лигнине и других низкосортных видах топлива.

В 50-70-е годы усилия специалистов в области горения были направлены на исследование возможностей интенсификации процессов воспламенения и горения органического топлива, а также на создание, освоение и совершенствование топочных устройств с уменьшенными габаритами. Достижение этой цели позволило бы снизить высоту котла и уменьшить расходы на сооружение и ремонт не только котла, но и главного корпуса электростанции. Именно в эти годы энергетики США, ФРГ и СССР начали все чаще применять высокофорсированные циклонные предтопки, которые по сравнению с обычными пылеугольными установками обеспечивали экономию до 15 % площади и до 20 % объема, повышение к.п.д. котлов за счет сокращения расхода электроэнергии на приготовление топлива и снижения коэффициента избытка воздуха с 1,20 ... 1,25 до 1,05 ... 1,10.

В настоящее время циклонный способ сжигания получил достаточно широкое применение в большой и малой энергетике, в том числе, для сжигания древесных и промышленных отходов. Циклонные топки, по сравнению с камерными, имеют более высокие тепловые нагрузки топочных камер, меньшие массогабаритные показатели и лучшую совместимость с энергетическими котлами. Они

обеспечивают высокую эффективность процессов сжигания при малых значениях коэффициента избытка воздуха и имеют еще целый ряд преимуществ. Особо следует отметить, что циклонные топки и предтопки дают возможность сжигать топливо большой влажности с небольшой теплотой сгорания и широким диапазоном изменения фракционного состава.

Анализ конструкций имеющихся циклонных топочных устройств для утилизации отходов переработки древесной биомассы позволил установить, что большинство существующих вертикальных топок и предтопок имеют верхний торцевой или периферийный выход для продуктов сгорания, что является более предпочтительным в аэродинамическом отношении, но менее эффективным с точки зрения их компоновки с существующими котельными агрегатами. При данном расположении выходного отверстия будет работать только верхняя часть топочной камеры, а ее основной объем будет простаивать в холодном состоянии, что крайне нежелательно. Данный недостаток может быть в принципе устранен заглублением циклонного предтопка за нулевую отметку. Однако это технически сложно и практически невыполнимо в условиях котельных малой энергетики.

Крайне неоднородный фракционный состав древесных отходов позволяет сделать предположение о необходимости организации их двухступенчатого сжигания. С этой точки зрения несомненный интерес представляет циклонный предтопок, содержащий циклонную камеру, камеру дожига, колосниковую решетку, расположенную в циклонной камере, и тангенциальные сопла [27]. Конструкция предтопка предусматривает двухстадийное сжигание древесных отходов в нижней и верхней камерах горения. Измельченное топливо из бункера гидравлическим плунжером подается по трубе большого диаметра на колосниковую решетку через специальное отверстие в ее центре. Образующаяся коническая куча древесных отходов воспламеняется газовой запальной горелкой, автоматически отключающейся после начала устойчивого горения топлива.

Недостатком этой конструкции является, как было отмечено выше, верхний торцевой выход дымовых газов.

Циклонный предтопок, предложенный авторами [20] (см. рисунок), содержит две камеры: циклонную 2 и дожига 4, расположенную под ней.

Подача топлива совместно с первичным воздухом в циклонную камеру производится аксиально через патрубок 1. Через четыре тангенциальных шлица 8 в ее рабочий объем вводится вторичный воздух. Для увеличения времени пребывания частиц топлива в объеме циклонной камеры, повышения надежности их воспламенения и выгорания, предусмотрен пережим 3 с буртиком, благодаря которому создаются очаги

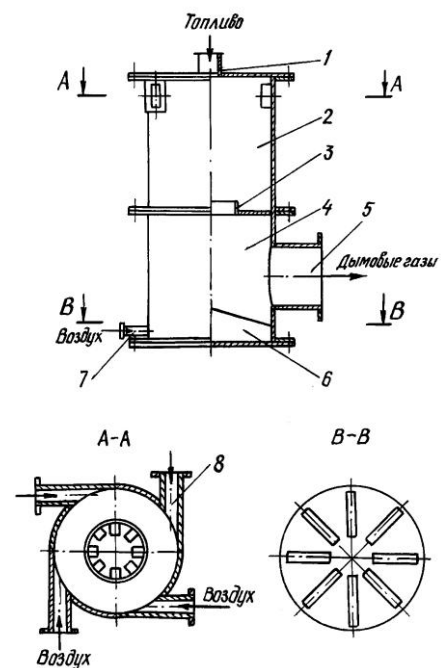


Схема циклонного двухкамерного предтопка для сжигания древесных отходов

слоевого горения. Продукты газификации и несгоревшие частицы через отверстие в пережиге попадают в камеру дожига, где поток также является закрученным, но в значительно меньшей степени. Осевой обратный ток, формирующийся в камере дожига и проникающий обратно в циклонную камеру, благоприятствует стабилизации горения топлива и перемешиванию продуктов сгорания.

Для завершения горения крупных фракций организован процесс их слоевого сжигания на колосниковой решетке 6 конического типа, под которую через патрубок 7 подается воздух. Отверстия колосниковой решетки выполнены таким образом, что обеспечивают дополнительную подкрутку газов по направлению основного вращения, тем самым повышая полноту и скорость выгорания частиц топлива. Расход воздуха, подаваемого под решетку, составляет 8 ... 10 % от его общего количества. Отвод продуктов сгорания в объем топочной камеры котлоагрегата осуществляется через выходной патрубок 5.

Предложенный циклонный предтопок хорошо komponуется с существующими котельными агрегатами, позволяет повысить полноту выгорания топлива, расширить диапазон эффективного сжигания древесных отходов с влажностью до 60 ... 65 %, снизить образование оксида азота в процессе горения. Нижний периферийный вывод продуктов сгорания дает возможность задействовать практически весь рабочий объем топочной камеры котельного агрегата.

В ходе проведенных аэродинамических исследований определены оптимальные геометрические параметры модели циклонного предтопка [3, 4, 16, 28].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексин М.В. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности / М.В. Алексин [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 216 с.
2. Головков С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головков, И.Ф. Коперин, В.И.Найденков. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
3. Горохов С.Г. Влияние диаметра выходного отверстия и площади входа на аэродинамику циклонного предтопка для сжигания древесных отходов / С.Г. Горохов, Э.Н. Сабуров, В.К. Любов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр./ АГТУ. – 2001. – Вып. 7. – С. 49–55.
4. Горохов С.Г. Влияние длины циклонной камеры на аэродинамику предтопка для сжигания некондиционных древесных отходов / С.Г. Горохов [и др.]. // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. / АГТУ. – 2001. – Вып. 7. – С. 43–49.
5. Доброхотов В.И. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Проблемы и перспективы / В.И. Доброхотов, Э.Э. Шпильрайн // Теплоэнергетика. – 1996. – № 5. – С. 2–9.
6. Древесные отходы – источник тепловой энергии // Плиты и фанера: Экспресс-информ. по зарубежным источникам / ВНИПИЭИлеспром. – 1981. – Вып. 10. – С. 1–6.
7. Егоров А.И. Энергетическое использование некондиционных отходов / А.И. Егоров, А.Н. Орехов, Э.Н. Сабуров // Лесн. пром-сть. – 1981. – № 11. – С. 2.
8. Заявка 2000102593/20 Россия, F 23 В 1/36. Устройство для сжигания высокозольных топлив / Г. А. Глебов, Е. В. Мартынов, Г. И. Павлов // Изобретения. – 2000. – № 24. – С. 150.

9. *Зысин Л.В.* Некоторые итоги применения растительной биомассы в энергетике развитых стран / Л.В. Зысин, Н.Л. Кошкин // Теплоэнергетика. – 1997. – № 4. – С. 28–32.
10. *Зысин Л.В.* Вопросы энергетического использования биомассы отходов лесопроизводства / Л.В. Зысин, Н.Л. Кошкин, Ф.З. Финкер // Теплоэнергетика. – 1994. – № 11. – С. 30–35.
11. *Зысин Л.В.* Энергетическое использование биомассы на основе термической газификации / Л.В. Зысин, Н.Л. Кошкин // Теплоэнергетика. – 1997. – № 4. – С. 23–28.
12. *Качалов П.П.* Современные и перспективные топочные устройства для сжигания некондиционных древесных отходов и коры / П.П. Качалов // Машины и оборудование для механизации лесоразработок: Межвуз. сб. – Л.: ЛТА, 1974. – Вып. 3. – С. 144–149.
13. *Кострушин А.В.* Топка для сжигания несортированного древесного топлива высокой влажности / А.В. Кострушин // Лесн. журн. – 1958. – № 1. – С. 145–152. – (Изв. высш. учеб. заведений)
14. *Котлер В.Р.* Развитие технологий факельного и вихревого сжигания твердого топлива / В.Р. Котлер // Теплоэнергетика. – 1998. – № 1. – С. 67–62.
15. *Кузнецов Н.М.* Использование биомассы для производства энергии на севере России / Н.М. Кузнецов, В.И. Шуцкий // Материалы докл. Российского национального симпозиума по энергетике. Т. 1. – Казань, 2001. – С. 231–234.
16. *Любов В.К.* Повышение эффективности энергетического использования древесных отходов, лигнина и торфа с помощью циклонных предтопок / В.К. Любов, Э.Н. Сабуров, С.Г. Горохов // Повышение эффективности теплообменных процессов и систем: Материалы Второй междунар. научно-техн. конф. Ч. 1. – Вологда: ВолГТУ, 2000. – С. 222–224.
17. Новая котельная установка вертикальной циклонной топки для сжигания отходов на мебельной фабрике фирмы «Schaffitzel» (ФРГ) // Экспресс-информ. – 1991. – № 12. – С. 8–11.
18. *Ощепков Л.С.* Сжигание пылевидных отходов в топках котлов / Л.С. Ощепков // Лесн. пром-сть. – 1981. – № 7. – С. 12–15.
19. Пат. 2142281 Франция. Циклонный предтопок для котлов / Изобретения за рубежом. Освещение и отопление, вентиляция, холодильные, сушильные и теплообменные устройства, печи. – Оpubл. 2.03.73.
20. Пат. 2196273. Циклонный предтопок / Э.Н. Сабуров, В.К. Любов, С.Г. Горохов; заявитель АГТУ – № 2001114059, приоритет от 22.05. 01.
21. Патент № 3875675 США. Циклонная топка // Изобретения за рубежом. Освещение и отопление, вентиляция, холодильные, сушильные и теплообменные устройства, печи. – Оpubл. 8.04.75.
22. *Пижурин П.А.* Повышать эффективность использования топливно-энергетических ресурсов / П.А. Пижурин // Деревообаб. пром-сть. – 1980. № 11. – С. 1–3.
23. *Пурим В.Р.* Исследование совместного сжигания древесных отходов с высокосернистым мазутом в циклонных горелочных устройствах / В.Р. Пурим // Промышленная энергетика. – 1982. – № 11. – С. 41–43.
24. *Пурим В.Р.* Об энергетическом использовании мелких древесных отходов / В.Р. Пурим // Промышленная энергетика. – 1982. – № 8. – С. 44–46.



25. *Сабуров Э.Н.* Аэродинамика циклонной камеры, закруженной мелко-дисперсной древесно-шлифовальной пылью / Э.Н. Сабуров [и др.]. // Лесн. журн. – 1987. – № 6. – С. 66–70. – (Изв. высш. учеб. заведений).

26. *Сабуров Э.Н.* Кафедра теплотехники Архангельского государственного технического университета 1930-2000 / Э.Н. Сабуров. – Архангельск: АГТУ, 2000. – 160 с.

27. *Сабуров Э.Н.* Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве / Э.Н. Сабуров, С.В. Карпов; под ред. Э.Н. Сабурова. – М.: Экология, 1993. – 386 с.

28. *Сабуров Э.Н.* Общая картина движения газов в объеме циклонного предтопка для сжигания древесных отходов / Э.Н. Сабуров [и др.]. // Энергосбережение в теплоэнергетических системах: Материалы междунар. научно-техн. конф. – Вологда: ВолГТУ, 2001. – С. 15–17.

29. *Сабуров Э.Н.* Циклонные топки для сжигания отходов / Э.Н. Сабуров [и др.]. // Научно-техн. политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области: Тез. докл. науч.-практ. конф. – Архангельск, 1998. – С. 62–63.

30. *Сташкив М.Г.* Топки для сжигания мелкодисперсных древесных отходов / М.Г. Сташкив, Я.М. Гнатышин, В.И. Белошицкий // Деревообработ. пром-сть. – 1989. – № 4. – С. 15–17.

31. Топка для сжигания отходов. – 1986. – 3 с. – 86-027. (Информ. листок о научно-техн. достижении ЭСТ. НИИНТИ).

32. Burner convert wet bark other mill refuse to heat for dry kilns / Fjrest ind. – 1978. – N 6. – P. 30–31.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 16.06.03

*S.G. Gorokhov, E.N. Saburov, V.K. Lyubov*

### **Cyclone Furnace Extension for Wood Wastes Burning**

Common devices for burning wastes of wood biomass processing are considered; new original construction of cyclone furnace extension with similar designation is proposed.

УДК 634.0.813.16

**М.В. Ефанов**

Ефанов Максим Викторович родился в 1973 г, окончил в 1995 г. Алтайский государственный университет, кандидат химических наук, старший научный сотрудник НИИ древесных термопластиков при Алтайском государственном университете. Имеет более 50 печатных работ в области химии древесины.



### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ОКСИАММОНОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ЛИГНИНА

Изучен функциональный состав продуктов окислительного аммонолиза лигнина и целлюлозы из древесины осины, полученных при их обработке аммиачным раствором персульфата аммония механохимическим способом.

*Ключевые слова:* оксиаммонолиз, лигнин, целлюлоза.

Ранее нами разработан новый способ получения азотсодержащих производных лигноуглеводных материалов при их окислении персульфатом аммония в среде аммиака механохимическим методом [1, 2], изучено изменение функционального состава древесины в этом процессе [1].

Для полной характеристики процесса необходимо изучить поведение отдельных компонентов древесины при оксиаммонолизе.

Для проведения эксперимента из исходной древесины были выделены целлюлоза (по методу Кюршнера) и медноаммиачный лигнин [5].

Образцы выделенных целлюлозы и лигнина массой 2,0 г обрабатывали персульфатом аммония (из расчета 0,1 г О/г древесины) в аммиачном растворе (из расчета 2,5 г NH<sub>3</sub>/г древесины). Смесь измельчали на шаровой мельнице в течение 30 мин при температуре 20 ... 25 °С. В исходных и полученных оксиаммонолизом продуктах определяли содержание гидроксильных, метоксильных, карбонильных и карбоксильных групп [3], а также содержание азота методом Кьельдаля [4]. Данные приведены в таблице.

#### Функциональный состав (%) основных компонентов древесины до (числитель) и после (знаменатель) оксиаммонолиза персульфатом аммония в среде аммиака

Образец	ОН <sub>общ</sub>	ОСН <sub>3</sub>	>C=O	СООН	N
Целлюлоза	<u>31,5</u>	-	<u>0,4</u>	<u>0,6</u>	<u>0,5</u>
	29,2	-	1,3	1,8	2,6
Лигнин	<u>10,3</u>	<u>18,5</u>	<u>2,5</u>	<u>0,6</u>	<u>0,4</u>
	6,4	12,4	0,4	4,4	6,1

Как видно из полученных результатов, обработка целлюлозы и лигнина сопровождается уменьшением содержания гидроксильных и накоплением карбоксильных групп. Содержание карбоксильных групп в лигнине также понижается, а в целлюлозе, наоборот, нарастает. Одновременно лигнин при такой обработке претерпевает заметное деметоксилирование.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефанов М.В.* Окислительный аммонолиз лигноуглеводных материалов / М.В. Ефанов, Л.А. Першина, А.Г. Клепиков // Химия растительного сырья. – 2000. – № 4. – С. 73–80.
2. *Ефанов М.В.* Получение азотсодержащих производных лигноуглеводных материалов / М.В. Ефанов, А.Г. Клепиков // Химия природных соединений. – 2001. – № 1. – С. 71–72.
3. *Закис Г.Ф.* Функциональный анализ лигнинов и их производных / Г.Ф. Закис. – Рига: Зинатне, 1987. – 287 с.
4. *Климова В.А.* Основные микрометоды анализа органических соединений / В.А. Климова. – М.: Химия, 1975. – 211 с.
5. *Оболенская А.В.* Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская [и др.]. – М.: Лесн. пром-ть, 1965. – 411 с.

Алтайский государственный университет

Поступила 22.10.03

*M.V. Efanov*

#### **Functional Composition of Oxiammonolysis of Pulp and Lignin**

Functional composition of oxidizing ammonolysis of lignin and pulp products liberated from aspen wood obtained under their treatment with ammonia solution of ammonium persulphate by mechanochemical method.

---



## НЕКРОЛОГИ

## ПАМЯТИ ГЕОРГИЯ ИВАНОВИЧА ЧИЖОВА

28 июля 2004 г. после тяжелой болезни ушел из жизни известный российский ученый, крупный специалист в области технологии бумаги, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, профессор, доктор технических наук Георгий Иванович Чижов.

Карьера его складывалась удачно: начальник смены бумажной фабрики, аспирант, доцент, профессор, зав. кафедрой вуза. Георгий Иванович был авторитетом практически во всех вопросах производства бумаги и бумагоподобных материалов. Он открыл и обосновал эффект координационного взаимодействия полигидрокомплексов поливалентных металлов с целлюлозой; исследовал механизм взаимодействия компонентов бумажной массы в условиях бумажного производства; разработал и реализовал в производстве технологию отлива в щелочной среде высокозольной клееной бумаги с максимально замкнутой системой водоснабжения; разработал технологию композитных материалов на основе неорганических волокон различного назначения. За успехи в научной деятельности (открытие координационного взаимодействия полигидрокомплексов алюминия с целлюлозой) был награжден медалью РАЕН им. П.Л. Капицы.

Благодаря своим личным качествам он снискал безграничное уважение и глубокую признательность учеников, коллег и друзей.

В нашей памяти навсегда останется светлый образ Георгия Ивановича Чижова как совершенно исключительного эрудита и профессионала, мастера и пропагандиста русского литературного и инженерного языка.



Коллеги, друзья

*Colleagues, friends*

**In Memory of Georgy I. Chizhov**

---