

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

5

2009

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**  
Заместители главного редактора:  
д-р хим. наук, проф. **О.М. Соколов**, д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р хим. наук, проф. **А.М. Айзенштадт**, д-р геогр. наук, проф. **А.С. Алексеев**, д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**, д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Комаров**, д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**, канд. техн. наук, проф. **Н.В. Лившиц**, д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**, д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**, д-р биол. наук, проф. **Е.Г. Мозолевская**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**, канд. с.-х. наук, доц. **О.А. Неволин**, д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**, д-р техн. наук, проф. **А.В. Питухин**, д-р хим. наук, проф. **Д.А. Пономарев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**, д-р с.-х. наук, проф. **В.П. Рябчук**, д-р техн. наук, проф. **Э.Н. Сабуров**, д-р биол. наук, проф. **Е.Н. Самошкин**, д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**, д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**, д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**, д-р техн. наук, проф. **В.А. Суслов**, д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**, д-р техн. наук, проф. **В.Я. Харитонов**, д-р с.-х. наук, проф. **А.И. Чернодубов**, д-р с.-х. наук, проф. **Г.А. Чибисов**, д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**, 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» № 5

Редакторы Н.П. Бойкова, Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой  
Перевод Н.Т. Подражанской  
Графическое оформление О.А. Томиловой

---

Сдан в набор 08.09.2009. Подписан в печать 11.10.2009. Заказ № 226  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,77. Усл. кр.-отт. 12,77.  
Уч.-изд. л. 16,351. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: (818-2) 28-76-18, тел. 21-89-01  
e-mail: forest@agtu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>А.Л. Мусиевский.</i> Рубки ухода в дубравах лесостепной зоны.....	7
<i>П.М. Мазуркин, А.О. Попова.</i> Закономерности распределения мутовок ели.....	16
<i>Е.Н. Наквасина, А.И. Барабин.</i> Рост полусибсовых межгеографических гибридов сосны обыкновенной в испытательных культурах северной подзоны тайги Архангельской области.....	25
<i>Л.Т. Свиридов, Н.Д. Гомзяков, А.И. Новиков, А.Н. Томилин.</i> О новом перспективном технологическом комплексе машин и оборудования для обработки лесных семян.....	31
<i>И.В. Голядкина.</i> Основные тенденции развития лесных сообществ в зоне влияния Нововоронежской АЭС.....	37
<i>В.В. Кругляк, Н.П. Карташова.</i> Состояние насаждений в городской среде Воронежа.....	40
<i>А.С. Новоселов, А.Л. Федяев, В.В. Петрик.</i> Некоторые аспекты смолопродуктивности сосняков на объектах гидроресомелиорации в Вологодской области.....	44
<i>А.П. Царев, В.А. Царев.</i> Экономическая эффективность ползащитных полос из тополей.....	51

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>А.П. Коновалов, А.А. Селиверстов.</i> Сравнение технологических процессов лесосечных работ по комплексному критерию эффективности.....	63
<i>В.И. Посметьев, О.С. Алимова.</i> Оценка эффективности отделения хвои традиционными и перспективными способами.....	68
<i>И.Е. Донцов.</i> Повышение курсовой устойчивости комбинированных машинно-тракторных агрегатов на лесовосстановлении.....	73

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

## И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов, О.В. Аралова, Ю.С. Снегирева.</i> Повышение водопроводящей способности древесины дуба после термохимической обработки.....	79
<i>А.В. Прохоров, И.О. Думанский.</i> Повышение упругих и динамических характеристик натяжных устройств ленточнопильных станков.....	83
<i>Г.А. Баланцев, Н.Б. Баланцева.</i> Развитие методов расчета процессов влагопередачи при сушке древесины.....	87
<i>А.Е. Алексеев, В.П. Емельянов, Н.И. Маркин.</i> Обоснование параметров узла резания маятникового торцовочного устройства с линейным приводом... ..	94
<i>В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева.</i> Экспериментальное уточнение реологической модели древесины.....	104

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Ю.Д. Алашкевич, Д.В. Пахарь, В.И. Ковалев, Е.Е. Нестеров.</i> Построение гарнитуры дисковых мельниц с криволинейной формой ножей.....	110
--	-----

- 
- А.В. Кулешов, А.С. Смолин, Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков.* Характеристики макулатурного волокна после ферментативного удаления крахмала..... 115
- Н.С. Епифанцева, Ю.Я. Симкин.* Оценка качества древесины лиственниц, пораженных сибирским шелкопрядом, как сырья для углежжения..... 120

*ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА*

- Н.Е. Егоров, А.П. Исаев.* Формирование инновационно-промышленного кластера лесного комплекса Республики Саха (Якутия)..... 128

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- В.К. Любов, В.В. Горюнов.* Результаты исследования эффективности работы цеха по производству древесных гранул..... 135
-



## CONTENTS

## FORESTRY

<i>A.L. Musievsky.</i> Thinning in Oak Forests of Forest-steppe Zone.....	7
<i>P.M. Mazurkin, A.O. Popova.</i> Distribution Regularities of Spruce Verticils.....	16
<i>E.N. Nakvasina, A.I. Barabin.</i> Growth of Half-sibs Interprovenance Hybrids of Scotch Pine in Trial Cultures of Northern Taiga Subzone in Arkhangelsk Region.....	25
<i>L.T. Sviridov, N.D. Gomzyakov, A.I. Novikov, A.N. Tomilin.</i> On New Perspective Technological Complex of Machines and Equipment for Forest Seeds Treatment.....	31
<i>I.V. Golyadkina.</i> Main Tendencies of Forest Communities' Development in Zones Affected by New-Voronezh Nuclear Power Plant.....	37
<i>V.V. Kruglyak, N.P. Kartashova.</i> Plantation State in Voronezh Urban Environment.....	40
<i>A.S. Novoselov, A.L. Fedyayev, V.V. Petrik.</i> Some Aspects of Resin Productivity of Pine Forests at Forest Improvement Objects in Vologda Region.....	44
<i>A.P. Tsarev, V.A. Tsarev.</i> Economic Efficiency of Poplar Shelterbelts.....	51

## WOODEXPLOITATION

<i>A.P. Konovalov, A.A. Seliverstov.</i> Comparison of Technological Processes of Logging Operations according to Complex Efficiency Criterion.....	63
<i>V.I. Posmetjev, O.S. Alimova.</i> Efficiency Assessment of Needles Separation by Traditional and Perspective Methods.....	68
<i>I.E. Dontsov.</i> Increase of Course-keeping Ability of Combined Machine-tractor Aggregates in Reforestation.....	73

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>T.K. Kurjanova, A.D. Platonov, O.V. Aralova, Yu.S. Snegireva.</i> Increase of Oak Water Conductivity after Thermachemical Treatment.....	79
<i>A.V. Prokhorov, I.O. Dumansky.</i> Increase of Elastic and Deformation Characteristics of Tensioners in Bandsaw Machines.....	83
<i>G.A. Balantsev, N.B. Balantseva.</i> Development of Computation Methods for Moisture Transfer Processes in Wood Drying.....	87
<i>A.E. Alekseev, V.P. Emelyanov, N.I. Markin.</i> Substantiation of Cutting Unit Parameters for Swinging Trimming Device with Linear Drive.....	94
<i>V.N. Kuritsyn, E.M. Tyuleneva.</i> Experimental Specification of Rheological Wood Model.....	104

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>Yu.D. Alashkevich, D.V. Pakhar, V.I. Kovalev, E.E. Nesterov.</i> Tacking Building of Disk Mills with Curved Form of Blades.....	110
<i>A.V. Kuleshov, A.S. Smolin, E.V. Novozhilov, A.V. Kondakov.</i> Characteristics of Waste Paper Fibers after Enzymatic Starch Removal.....	115
<i>N.S. Epifantsev, Yu.Ya. Simkin.</i> Quality Assessment of Larch Wood Affected by Siberian Silkmoth as Raw Material for Charcoal Burning.....	120

---

---

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- N.E. Egorov, A.P. Isaev.* Formation of Innovation-industrial Cluster of Forest Complex in Sakha Republic (Yakutia)..... 128

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

- V.K. Lyubov, V.V. Goryunov.* Survey Results of Operation Efficiency of Wood Pellets Plant..... 135
- 
-



## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*24

*А.Л. Мусиевский*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Мусиевский Александр Леонидович родился в 1958 г., окончил в 1984 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 80 печатных работ в области организации и ведения хозяйства в дубравах и комплексной оценки лесных ресурсов.

E-mail: [lestaks53@mail.ru](mailto:lestaks53@mail.ru)**РУБКИ УХОДА В ДУБРАВАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ**

Разработаны нормативы режимов ухода в нагорных, пойменных и байрачных дубравах по хозяйственным секциям и группам типов леса.

*Ключевые слова:* рубки ухода, лесостепная зона, нормативы режимов ухода.

Рубки ухода в дубравах – важное звено единого процесса их восстановления и выращивания, направленного на улучшение породного состава, повышение продуктивности, качества, устойчивости и экологической роли [1]. В настоящее время на основе более чем 100-летнего опыта отработана система традиционных видов рубок ухода на формирование экономически, экологически и эстетически целесообразных насаждений. При их выполнении следует учитывать экотипы дуба, тип лесорастительных условий (группу типов леса), внутривидовую и межвидовую конкуренцию древесных пород, строение насаждений, экологические особенности местопроизрастания, обуславливающие горизонтальную мозаичность и образование био групп (микроченозов). В лесостепной зоне рубки ухода целесообразно назначать, прежде всего, в насаждениях высокой и средней производительности (Ia–III классы бонитета) в типах лесорастительных условий: D<sub>0</sub>–D<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>–C<sub>3</sub>, E<sub>0</sub>–E<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>П, D<sub>3</sub>П, C<sub>2</sub>D, C<sub>3</sub>D и B<sub>2</sub>–B<sub>3</sub>. В дубравах, особенно в благоприятной среде обитания, порой наблюдается значительная примесь других пород, являющихся, с одной стороны, как правило, его естественными спутниками, а с другой – конкурентами в борьбе за выживание. В равнинной части Европейской России к ним относятся ясень обыкновенный, ильм, клен остролиственный, липа, осина, береза и ряд других пород. После сплошной рубки их поросль обильно покрывает лесосеку, и естественное возобновление дуба или созданные культуры без уходов, как правило, погибают. И в дальнейшем угроза вытеснения главной породы постоянно сохраняется. Взаимоотношения отдельных пород с дубом различны. Среди твердолиственных пород наибольший антагонист – ясень обыкновенный, распространенный в Центральной лесостепи (Шипова дубрава). На богатых почвах он быстро растет, устойчив и светолюбив, является прямым конкурентом дуба. Поэтому не следует допускать его доли в составе более 20...30 %, а к 100-летнему возрасту необходимо вырубать полностью.

## Нормативы режимов рубок ухода в насаждениях

Хоз-секция	Группа типов леса (класс бонитета)	Доля дуба в составе, ед. Возраст начала ухода, лет	Происхождение и доля сопутствующих пород, ед.	Осветления	
				Минимальная сомкнутость до ухода после ухода	Интенсивность по запасу, % Повторяемость, лет
1	2	3	4	5	6
ДН в/с 1	C <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> D, C <sub>3</sub> , D <sub>1</sub> -D <sub>3</sub> (Ia – III)	$\frac{8...10}{6...8}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...25}{3...5}$
			Порослевое (Ос+Б+Ив+В+ +Лщ+Кл.п+Кл.т) $\geq 2$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{1...3}$
	Семенное (Лп+Кл.о+ +Я.о) >2	$\frac{0,7}{0,5}$		$\frac{20...50}{2...4}$	
	C <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> D, C <sub>3</sub> , D <sub>1</sub> -D <sub>3</sub> (Ia – III)	$\frac{3...4}{2...3}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+ +Лщ+Кл.п+Кл.т) $\geq 3$	$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{35...65}{1...3}$
				Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >3	$\frac{0,7}{0,4}$
	ДП в/с 1	D <sub>2</sub> П, D <sub>3</sub> П (I – III)	$\frac{8...10}{6...8}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,7}$
Порослевое (Ос+Б+Ив+В+ +Лщ+Кл.п+Кл.т) $\geq 2$				$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{30...60}{1...3}$
		Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >2	$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{25...55}{2...4}$	
D <sub>2</sub> П, D <sub>3</sub> П (I – III)		$\frac{3...4}{2...3}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) $\geq 3$	$\frac{0,7}{0,3}$	$\frac{40...70}{1...3}$
				Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >3	$\frac{0,7}{0,3}$

## дубовых хозяйственных секций лесостепной зоны

Прочистки		Прореживания		Проходные рубки		Целевой состав к возрасту спелости (руб-ки)
Минимальная полнота до ухода после ухода	Интенсивность по запасу, % Повторяемость, лет	Минимальная полнота до ухода после ухода	Интенсивность по запасу, % Повторяемость, лет	Минимальная полнота до ухода после ухода	Интенсивность по запасу, % Повторяемость, лет	
7	8	9	10	11	12	13
$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...25}{4...6}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...25}{7...10}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...25}{10...15}$	(8...10) ДН (0...2) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{15...45}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{15...35}{5...7}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{15...35}{8...12}$	(8...9) ДН (1...2) СП
$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{15...40}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{15...30}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{15...30}{9...15}$	(7...8) ДН (2...3) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...55}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{15...45}{5...7}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{10...40}{8...12}$	(6...7) ДН (3...4) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...50}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{15...40}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{20...35}{9...15}$	(6...7) ДН (3...4) СП
$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...30}{4...6}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...30}{7...10}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...30}{10...15}$	(8...10) ДП (0...2) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...50}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...45}{5...7}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{15...45}{8...12}$	(8...9) ДП (1...2) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...45}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{20...40}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{20...40}{9...15}$	(8...9) ДП (1...2) СП
$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{30...60}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...50}{5...7}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{15...45}{9...15}$	(6...7) ДП (3...4) СП
$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{25...55}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...50}{6...8}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{25...45}{9...15}$	(6...7) ДП (3...4) СП

1	2	3	4	5	6	
ДБ в/с 1	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{8...10}{6...8}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,7}$	Склон $\frac{20...25}{3...5}$	
			Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 2	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{1...3}$	
	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{5...7}{2...4}$	Семенное (Лп+Кл.о+Я.о)>2	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...50}{2...4}$	
			Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 3	$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{35...65}{1...3}$	
	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{3...4}{1...3}$	Семенное (Лп+Кл.о+ Я.о) >3	$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{30...60}{2...4}$	
			Склон			
	ДБ в/с 1	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{8...10}{6...8}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,7}$	Склон $\frac{15...20}{3...5}$
				Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 2	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{1...3}$
E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)		$\frac{5...7}{2...4}$	Семенное (Лп+Кл.о+Я.о)>2	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{20...40}{2...4}$	
			Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{1...3}$	
E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)		$\frac{3...4}{2...3}$	Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{20...45}{2...4}$	
			Склон			
Д <sub>2</sub> П, Д <sub>3</sub> П в/с 2		D <sub>2</sub> П, D <sub>3</sub> П (I – III)	$\frac{8...10}{5...7}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...25}{4...6}$
				Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 2	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...45}{2...4}$

Продолжение таблицы

7	8	9	10	11	12	13
0...10°						
<u>0,9</u> 0,7	<u>20...25</u> 4...6	<u>0,9</u> 0,7	<u>20...25</u> 7...10	<u>0,9</u> 0,7	<u>20...25</u> 10...15	(8...10) ДН (0...2) СП
<u>0,7</u> 0,5	<u>15...45</u> 3...5	<u>0,7</u> 0,6	<u>15...35</u> 5...7	<u>0,7</u> 0,6	<u>15...35</u> 8...12	(8...9) ДН (1...2) СП
<u>0,7</u> 0,6	<u>15...40</u> 4...6	<u>0,8</u> 0,7	<u>15...30</u> 6...8	<u>0,8</u> 0,7	<u>15...30</u> 9...15	(7...8) ДН (2...3) СП
<u>0,7</u> 0,5	<u>20...55</u> 3...5	<u>0,7</u> 0,6	<u>15...45</u> 5...7	<u>0,7</u> 0,6	<u>10...40</u> 8...12	(6...7) ДН (3...4) СП
<u>0,7</u> 0,5	<u>20...50</u> 4...6	<u>0,8</u> 0,6	<u>15...40</u> 6...8	<u>0,8</u> 0,6	<u>20...35</u> 9...15	(6...7) ДН (3...4) СП
11...20°						
<u>0,9</u> 0,7	<u>15...20</u> 4...6	<u>0,9</u> 0,7	<u>15...20</u> 7...10	<u>0,9</u> 0,7	<u>15...20</u> 10...15	(8...10) ДБ (0...2) СП
<u>0,8</u> 0,6	<u>20...40</u> 3...5	<u>0,8</u> 0,6	<u>20...35</u> 5...7	<u>0,8</u> 0,7	<u>15...30</u> 8...12	(7...8) ДБ (2...3) СП
<u>0,8</u> 0,6	<u>20...35</u> 4...6	<u>0,9</u> 0,7	<u>20...30</u> 6...8	<u>0,8</u> 0,7	<u>15...25</u> 9...15	(7...8) ДБ (2...3) СП
<u>0,7</u> 0,5	<u>20...45</u> 3...5	<u>0,8</u> 0,6	<u>20...40</u> 5...7	<u>0,8</u> 0,6	<u>20...40</u> 8...12	(6...7) ДБ (3...4) СП
<u>0,8</u> 0,6	<u>20...40</u> 4...6	<u>0,8</u> 0,6	<u>15...35</u> 6...8	<u>0,8</u> 0,7	<u>15...35</u> 9...15	(6...7) ДБ (3...4) СП
<u>0,9</u> 0,7	<u>20...25</u> 6...8	<u>0,9</u> 0,7	<u>20...25</u> 8...10	<u>0,9</u> 0,7	<u>20...25</u> 10...15	(8...10) ДПП (0...2) СП
<u>0,7</u> 0,5	<u>25...45</u> 3...5	<u>0,8</u> 0,6	<u>25...45</u> 6...8	<u>0,8</u> 0,6	<u>25...40</u> 9...12	(8...9) ДПП (1...2) СП

1	2	3	4	5	6	
ДПП в/с 2	D <sub>2</sub> П, D <sub>3</sub> П (I – III)	$\frac{5...7}{4...6}$	Семенное (Лп+Кл.о+Я.о)>2	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{3...5}$	
	D <sub>2</sub> П, D <sub>3</sub> П (I – III)	$\frac{3...4}{4...6}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{2...4}$	
			Семенное (Лп+Кл.о+Я.о)>3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{3...5}$	
ДНП в/с 2	C <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> D, C <sub>3</sub> , D <sub>1</sub> -D <sub>3</sub> (Ia – III)	$\frac{8...10}{5...7}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{4...6}$	
			C <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> D, C <sub>3</sub> , D <sub>1</sub> -D <sub>3</sub> (Ia – III)	$\frac{5...7}{3...5}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 2	$\frac{0,8}{0,6}$
	Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >2	$\frac{0,8}{0,6}$			$\frac{25...40}{3...5}$	
	C <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> D, C <sub>3</sub> , D <sub>1</sub> -D <sub>3</sub> (Ia – III)	$\frac{3...4}{3...5}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{2...4}$	
			Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{3...5}$	
	ДБП в/с 2	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{8...10}{5...7}$	Семенное 0...2	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{4...6}$
				E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{5...7}{3...5}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 2
		Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >2	$\frac{0,8}{0,6}$			$\frac{25...40}{3...5}$
	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I – III)	$\frac{3...4}{3...5}$	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 3	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{2...4}$	

Склон

Продолжение таблицы

7	8	9	10	11	12	13
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{7...9}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{25...35}{10...15}$	(7...8) ДПП (2...3) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{9...12}$	(6...7) ДПП (3...4) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{7...9}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{10...15}$	(6...7) ДПП (3...4) СП
$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{6...8}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{8...10}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{10...15}$	(8...10) ДНП (0...2) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{3...5}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{9...12}$	(8...9) ДНП (1...2) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{4...6}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{25...35}{7...9}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{25...35}{10...15}$	(7...8) ДНП (2...3) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{9...12}$	(6...7) ДНП (3...4) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{20...50}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{7...9}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{10...15}$	(6...7) ДНП (3...4) СП
0...10°						
$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{6...8}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{8...10}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{15...20}{10...15}$	(8...10) ДНП (0...2) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{3...5}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{9...12}$	(8...9) ДНП (1...2) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{4...6}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{25...35}{7...9}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{25...35}{10...15}$	(7...8) ДНП (2...3) СП
$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...55}{3...5}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{25...50}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{9...12}$	(6...7) ДНП (3...4) СП

1	2	3	4	5	6
ДБП в/с 2	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I–III)	<u>3...4</u> 3...5	Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >3	<u>0,7</u> 0,5	<u>25...50</u> 3...5
					Склон
ДБП в/с 2	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I–III)	<u>8...10</u> 5...7	Семенное 0...2	<u>0,9</u> 0,8	<u>10...15</u> 4...6
	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I–III)	<u>5...7</u> 4...6	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 2	<u>0,8</u> 0,6	<u>25...40</u> 2...4
			Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >2	<u>0,8</u> 0,6	<u>25...35</u> 3...5
	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> (I–III)	<u>3...4</u> 4...6	Порослевое (Ос+Б+Ив+В+Лщ+ +Кл.п+Кл.т) ≥ 3	<u>0,7</u> 0,5	<u>25...50</u> 2...4
			Семенное (Лп+Кл.о+Я.о) >3	<u>0,7</u> 0,5	<u>25...45</u> 3...5

Совершенно другие взаимоотношения дуба и сопутствующих пород складываются в Тульских засеках (Северная лесостепь). Появляющиеся здесь на вырубках клен остролистный, липа мелколистная, осина и береза, для большинства которых данные экологические условия близки к оптимальным, с первых лет и на протяжении всей жизни составляют острую конкуренцию дубу, отличаясь быстротой роста, теневыносливостью и устойчивостью. В связи с этим рубки ухода должны быть направлены на максимальное сохранение главной породы, строгое регулирование доли липы и клена, полное удаление осины и березы. В противном случае происходит смена пород, что и наблюдается в настоящее время в лесном фонде региона.

Сказанное относится к нагорным дубравам и свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к назначению рубок ухода даже в пределах одной лесорастительной зоны. В пойменных и байрачных дубовых лесах рубки ухода имеют существенные особенности [3, 5–7]. В пойменных лесах их цель заключается в выращивании сложных по строению, смешанных по составу, устойчивых насаждений; в байрачных – в усилении защитных свойств, в них интенсивность рубок должна понижаться с увеличением крутизны склонов.

Окончание таблицы

7	8	9	10	11	12	13
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{20...50}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{7...9}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{10...15}$	(6...7) ДНП (3...4) СП
11...20°						
$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{10...15}{6...8}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{10...15}{8...10}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{10...15}{10...15}$	(8...10) ДБП (0...2) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{3...5}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...35}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...35}{9...12}$	(7...8) ДБП (2...3) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...35}{4...6}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...30}{7...9}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{20...30}{10...15}$	(7...8) ДБП (2...3) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...45}{3...5}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{6...8}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{9...12}$	(6...7) ДБП (3...4) СП
$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...40}{4...6}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...35}{7...9}$	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{25...35}{10...15}$	(6...7) ДБП (3...4) СП

В «Правилах ухода за лесами» [1] приведены нормативы режима рубок ухода в дубравах РФ, включающие состав лесных насаждений, возраст начала ухода, интенсивность и целевой состав к возрасту спелости без разделения на лесорастительные зоны и экотипы. Кроме того, указанные группы типов леса не свойственны, в частности, дубравам Центральной лесостепи.

В связи с этим нами на основе большого объема полевых работ, обобщения результатов собственных исследований и данных других ученых [2, 3, 5–7] разработаны нормативы проведения традиционных видов рубок ухода в лесостепной зоне для нагорных, пойменных и байрачных дубрав по хозяйственным секциям и основным группам типов леса с учетом количества дуба в составе и возраста начала ухода, доли сопутствующих пород и их происхождения (см. таблицу). Разделение насаждений дуба на хозсекции производили по биологическому виду; происхождению – семенная и порослевая; производительности – высокоствольная и низкоствольная; местопрорастанию (экотипам) – нагорная, байрачная, пойменная, отличающиеся особенностями роста и направленностью лесохозяйственных мероприятий. В дубовую нагорную высокоствольную хозсекцию 1 (ДН в/с 1) включены семенные насаждения III класса бонитета и выше, в дубовую нагорную высокоствольную хозсекцию 2 (ДНП в/с 2) – порослевые насаждения I класса бонитета и выше. Аналогичное деление выполнено для пойменных (ДП в/с 1, ДПП в/с 2) и байрачных (ДБ в/с 1, ДБП в/с 2) дубрав. В разработанных

нормативах для каждого вида рубок указана минимальная полнота до и после ухода, интенсивность рубки и повторяемость. Определен целевой состав к возрасту спелости. Разработанная таблица может быть использована для автоматизированного проектирования и расчета объемов рубок ухода в дубравах лесостепи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила ухода за лесами [Текст] / утв. МПР РФ 16.07.2007 г. № 185. – М., 2007. – 45 с.
2. Тихонов, А.С. Лесоводство [Текст]: учеб. пособие / А.С. Тихонов. – Калуга: Изд.-пед. центр «Гриф», 2005. – 400 с.
3. Калиниченко, Н.П. Дубравы России [Текст] / Н.П. Калиниченко. – М., 2000. – 536 с.
4. Руководство по ведению хозяйства и восстановлению дубрав в равнинных лесах европейской части РФ [Текст] / под ред. Н.П. Калиниченко. – М.: ВНИИЛМ, 2000. – 136 с.
5. Шаталов, В.Г. Пойменные леса [Текст] / В.Г. Шаталов, И.В. Трещевский, И.В. Якимов. – 2-е изд. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 160 с.
6. Турчин, Т.Я. Восстановление пойменных дубрав Дона [Текст] / Т.Я. Турчин. – Ростов н/Д., 2003. – 176 с.
7. Яковлев, А.С. Дубравы Среднего Поволжья [Текст] / А.С. Яковлев, И.А. Яковлев. – Йошкар-Ола, 1999. – 352 с.

Поступила 10.06.08

*A.L. Musievsky*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

#### **Thinning in Oak Forests of Forest-steppe Zone**

Norms of tending modes in hillside, bottomland and ravine oak forests are elaborated according to economic sections and forest type groups.

Keywords: thinning, forest-steppe zone, norms of tending modes.

---

---

УДК 630\*561.26

**П.М. Мазуркин, А.О. Попова**

Марийский государственный технический университет

Мазуркин Петр Матвеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл, академик РАЕ и РАЕН. Имеет 920 печатных работ в области экологической оценки территорий по свойствам деревьев и их популяций, а также долговременным результатам лесозаготовок.

E-mail: [kaf\\_po@mail.ru](mailto:kaf_po@mail.ru)



Попова Анна Олеговна родилась в 1984 г., окончила в 2006 г. Марийский государственный технический университет, ассистент кафедры природообустройства МарГТУ, аспирант. Имеет 3 печатные работы в области экологической оценки территорий по свойствам хвой ели.

E-mail: [kaf\\_po@mail.ru](mailto:kaf_po@mail.ru)



## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МУТОВОК ЕЛИ

На конкретном примере показана методика идентификации закономерностей роста ели в прошлом, основанная на замерах прироста мутовок и расстояний между ними сверху вниз, начиная от терминального побега.

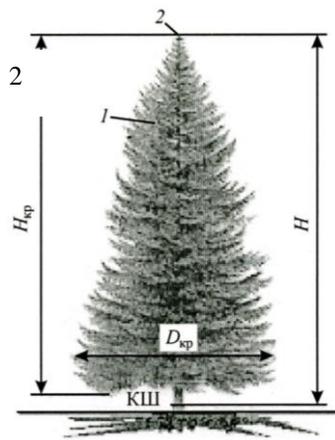
*Ключевые слова:* ель, мутовки, прирост ствола, поведение в прошлом.

Известные способы анализа древесного ствола [1, 6] не предусматривают исследования кроны, например, по измерениям мутовок у модельных деревьев ели. Цель нашей статьи – разработать способ анализа стволов ели с кронами и на этой основе изложить методику оценки экологического качества лесной или иной среды.

На рис. 1 показаны параметры ели, измеряемые в лесной таксации:  $kш$  – корневая шейка;  $D_{кр}$  – диаметр кроны, м;  $H_{кр}$  – протяженность кроны, м;  $H$  – высота дерева от корневой шейки до макушки терминального побега, м;  $l$  – крона учетного или модельного дерева ели;  $2$  – терминальный побег. На рис. 2 представлено расположение кроны в новой системе координат, когда нуль ставится на макушке терминального побега, а ось ретроспективного времени располагается сверху вниз до последней мутовки ветвей и сучьев на границе с бессучковой зоной ствола. Здесь появляются новые параметры:  $H_m$  – переменная высота от корневой шейки ствола по мутовкам до вершины терминального побега, м;  $Z_H$  – годичный прирост ствола ели по мутовкам от терминального побега до начала бессучковой зоны ствола, м. На рис. 3 приведена фотография молодой ели с дополнительным указанием рангов мутовок ( $r$ ), причем терминальный побег получает нулевой ранг.

Способ анализа кроны ели реализуется, например в ельнике, следующим образом. Закладывают пробную площадку, отбирают модельные деревья ели по внешним признакам. Измеряют таксационные показатели кроны 1 и указывают расположение терминального побега 2. Стволы спиливают около корневой шейки, измеряют расстояния до начала кроны и другие таксационные показатели. Затем обрубает сучья, сохраняя основания мутовок и вершины терминального побега. Все измерения записывают в журнал, показывая ранг расположения мутовок сверху вниз ствола от терминального побега. Затем стволы разделяют известными способами [1, 6].

В камеральных условиях анализ стволов от корневой шейки до начала кроны дополняют анализом от верхушки терминального побега по мутовкам ветвей. Измеряя переменную высоту от корневой



шейки

Рис. 1. Существующий способ таксации дерева

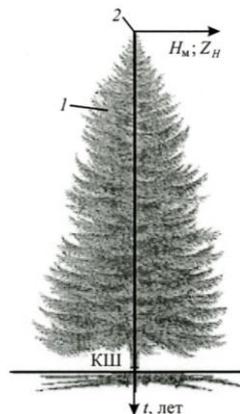


Рис. 2. Предлагаемый способ измерения ели

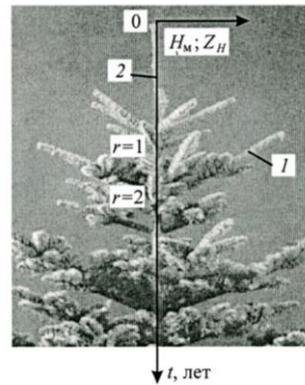


Рис. 3. Измерение ели по рангам мутовок

до каждой мутовки кроны, статистическим моделированием [2–5] выявляют рост модельного дерева ели в биологическом времени, а по расстояниям между мутовками от терминального побега ели до начала кроны – прирост в высоту в ходе ретроспективного времени, от момента проведения измерений до возраста ветвей.

Примеры. В работе [7] приведены измеренные параметры кроны ели разных классов роста. В таблице даны результаты моделирования по методике [3] высоты  $H_m$  расположения мутовки в зависимости от ее ранга  $r$  для ели первого класса роста.

При  $r = 0$  начало координат располагается на макушке терминального побега, тогда ось абсцисс совпадает с потоком ассимилятов.

Для первого класса роста дерева ели получена модель (рис. 4)

$$H_m = 20,569 \exp(-0,00001245r^{2,8444}) - 0,6202r^{0,9549}. \quad (1)$$

Коэффициент приспособляемости  $k$  [2] учтен с отрицательным знаком, что характеризует кризисный процесс влияния внешней среды на дерево по первой естественной составляющей (1). По закону гибели поток питательных веществ идет сверху вниз почти равномерно. Этому мешает растущий кризис поставки питательных веществ. Аналогичные модели получены по другим классам роста. Возраст ели по мутовкам  $t = r + 1$ . Тогда рост дерева в высоту определяется уравнением

$$H_M = H \exp(-a_1(t-1)^{a_2}) - a_3(t-1)^{a_4} \exp(-a_5(t-1)^{a_6}), \quad (2)$$

где  $t$  – ретроспективный возраст дерева ели, начиная с возраста терминального побега при условии  $t = 0$ ;

$a_1, \dots, a_6$  – параметры модели, зависящие от формы ствола и структуры кроны по расположению мутовки у конкретного дерева и вычисляемые по высоте мутовки и ее порядковому номеру, начиная от терминального побега.

**Высота расположения мутовки, м**

Ранг мутовки $r$	Факт $\hat{H}_M$	Расчетные значения по (1)			Составляющие (1)		Приспособляемость $-k$
		$H_M$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$H_1$	$H_2$	
0	20,53	20,57	-0,04	-0,19	20,57	0,00	0,00
1	20,02	19,95	0,07	0,35	20,57	0,62	0,03
2	19,50	19,36	0,14	0,72	20,57	1,21	0,06
3	18,83	18,79	-0,26	-1,38	20,56	1,77	0,09
4	18,20	18,23	-0,03	-0,16	20,56	2,33	0,11
5	17,63	17,66	-0,03	-0,17	20,54	2,88	0,14
6	17,15	17,09	0,06	0,36	20,53	3,44	0,17
7	16,66	16,53	0,13	0,78	20,50	3,97	0,19
8	16,16	15,96	0,20	1,24	20,47	4,51	0,22
9	15,45	15,38	0,07	0,45	20,44	5,06	0,25
10	14,72	14,80	-0,08	-0,54	20,39	5,59	0,27
11	14,04	14,21	-0,17	-1,21	20,34	6,13	0,30
12	13,50	13,62	-0,12	-0,89	20,27	6,65	0,33
13	12,99	13,01	-0,02	-0,15	20,19	7,18	0,36
14	12,29	12,40	-0,11	-0,90	20,11	7,71	0,38
15	11,72	11,78	-0,06	-0,51	20,01	8,23	0,41
16	11,03	11,14	-0,11	-1,00	19,90	8,76	0,44
17	10,80	10,50	0,30	2,78	19,78	9,28	0,47
18	9,95	9,84	0,11	1,11	19,64	9,80	0,50
19	9,28	9,17	0,11	1,19	19,49	10,32	0,53
20	8,52	8,49	0,03	0,35	19,32	10,83	0,56
21	7,68	7,79	-0,11	-1,43	19,14	11,35	0,59
22	7,00	7,08	-0,08	-1,14	18,95	11,87	0,63

Годичный прирост  $Z_H$  ствола ели первого класса роста определяется сложным уравнением, содержащим семь составляющих. При этом в про-

шлом, 17 лет назад, произошло резкое снижение прироста между мутовками (рис. 4).

Вначале резко выделяющуюся точку исключают и получают тренд (рис. 5) (первые две части) с волновой адаптацией ели по уравнению

$$Z_H = 0,49557 \exp(0,078460 \cdot 0,82723^r) - 0,0019819 \cdot 2^{2,39904} \exp(-0,079592 \cdot 0,99904^r) + A \cos(\pi r / p - 0,45201);$$

$$A = 124,3819 r^{-3,13020} \exp(-8,08701 r^{0,23853}); p = 6,82675 - 0,28175 r^{0,99606}, \quad (3)$$

где  $A, p$  – соответственно амплитуда и период колебаний.

Отличие от формулы (1) заключается в положительной ретроспективной волновой динамике прироста. Иначе говоря, со снижением высоты мутовки  $H_m$  увеличивается прирост ствола  $Z_H$  к раннему возрасту дерева ели. Но самые первые ветви отмерли, даже сучья отпали и заросли корой и древесиной. Поэтому тенденция по двум первым частям формулы (3) про-

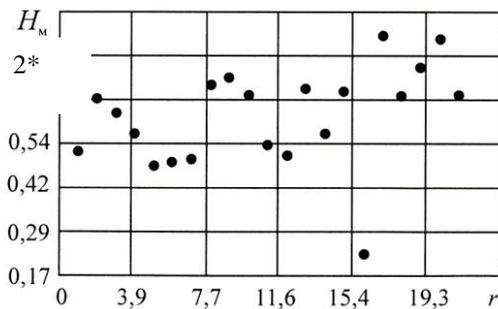


Рис. 4. Расстояние между мутовками, или годичный прирост ствола ели в зависимости от ранга мутовки. Здесь и далее для построения графиков использована программная среда Curve Expert 1.3

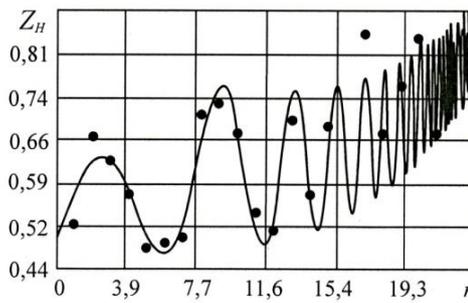


Рис. 5. Рой точек и график прироста ствола ели в высоту в зависимости от ранга мутовки без резко отклоняющейся одной точки на рис. 4. Здесь и далее  $s$  – среднее квадратическое отклонение,  $s = 0,0717$ ;  $r$  – коэффициент корреляции,  $r = 0,9384$

должится только со 2-го ранга.

Третья составляющая формулы (3), как видно при рассмотрении графика на рис. 5 справа налево, показывает не только снижение прироста по высоте между мутовками, но и колебательную адаптацию дерева к окружающей среде. Частота колебательного возмущения постепенно уменьшается, наблюдаются плавные изменения прироста в высоту, что свидетельствует об относительно комфортных условиях для данной ели первого класса роста.

Таким образом, появляется возможность биометрического обоснования классов роста и в дальнейшем отказа от такой группировки. После формулы (3) с возвратом ранее исключенной точки получен график на рис. 6.

График четвертой составляющей (второй составляющей волнового колебательного возмущения организма на внешние воздействия) представлен уравнением вейвлет-функции П.М. Мазуркина [3]:

$$Z_{H4} = A_2 \cos(\pi r / p_2 + 5,83322);$$

$$A_2 = 8,75520 \cdot 10^{-148} r^{186,52894} \exp(-11,21723r); p_2 = 15,97970 - 0,67366r. \quad (4)$$

Амплитуда колебания  $A_2$  изменяется по биотехническому закону, как в предыдущих формулах, т. е. показывает стрессовое возбуждение модельного дерева на внешние раздражители.

Рис. 6. График четвертой составляющей статистической закономерности (4), показывающий волновую адаптацию изучаемого дерева ели к условиям места произрастания с учетом кризисного года 16-летней давности ( $s = 0,0512$ ;  $r = 0,9006$ )

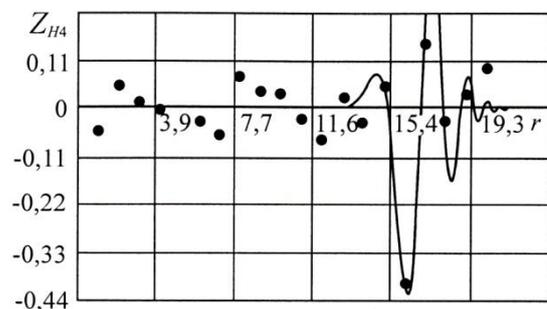
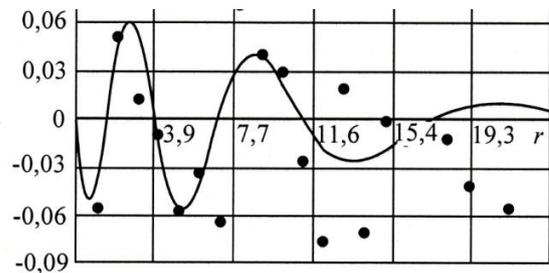


Рис. 7. График пятой составляющей волновой адаптации модельного дерева ели к условиям роста и развития за последние 17 лет жизни до рубки как модели кругляка ( $s = 0,0407$ ;  $r = 0,5877$ )



Импульсное изменение прироста в высоту произошло в течение 6 лет, от времени 20 лет назад ( $r = 19$ ) до 14 лет ( $r = 13$ ). За эти годы три положительных изменения прироста (сверху оси абсцисс) сменялись двумя отрицательными приростами (снизу оси абсцисс), причем один импульсивный кризис оказался наибольшим по амплитуде. Этот график будет вейвлет-функцией тогда, когда площади в верхней и нижней частях от оси абсцисс окажутся равными. Из-за биотехнического изменения амплитуды и периода колебательного возмущения ели вейвлет-функция будет асимметричной. Этот признак присущ не обычным сигналам (симметричным импульсам), а сигналам только от живого вещества.

Дальнейшие 14 лет ель росла и развивалась спокойно, как видно по точкам на рис. 6 (справа налево). Это означает, что дерево преодолело кризисный период.

Согласно графику на рис. 7 наступила новая волна возмущения с учащающейся частотой и нарастающей амплитудой (смотреть справа налево). Хотя амплитуда колебания достигла всего  $\pm 6$  см, но еще неизвестно,

что могло бы произойти в дальнейшем, если бы модельное дерево стало учетным и в будущем его измеряли геодезическими приборами с точностью  $\pm (1 \dots 3)$  мм. Но существование дерева как модели было прервано. Уравнение этого незавершенного колебания имеет вид (см. рис. 7)

$$Z_{H5} = A_3 \cos(\pi r / p_3 - 4,05120);$$

$$A_3 = 0,060977r^{0,34086} \exp(-0,13164r); p_3 = 1,72324 + 0,10831r. \quad (5)$$

С гораздо меньшей (в 10 раз) по сравнению с показанной на рис. 6 амплитудой в период с 16 до 6 лет назад произошло другое сигнальное изменение прироста в высоту по мутовкам 5–15 по формуле вида (рис. 8)

$$Z_{H6} = A_4 \cos(\pi r / p_4 - 6,22270);$$

$$A_4 = 1,79661 \cdot 10^{-6} r^{9,30239} \exp(-1,16257r); p_4 = 0,95088 + 0,058636r. \quad (6)$$

Если бы эти колебания можно было сопоставить с климатическими измерениями, а также регистрацией явлений и процессов на месте произрастания ели, то вполне стало бы реально указать причины появления тех или иных асимметричных вейвлет-сигналов. График на рис. 8 показывает, что четыре года назад до рубки изучаемое дерево успешно преодолело это малое волнение физиологических процессов.

Рис. 8. График шестой составляющей биотехнической закономерности, показывающей волновую адаптацию модельного дерева ели по приросту ствола в ретроспективе 5 ... 14 лет ( $s = 0,0375$ ;  $r = 0,3245$ )

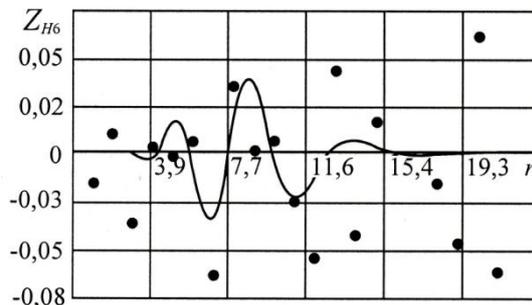
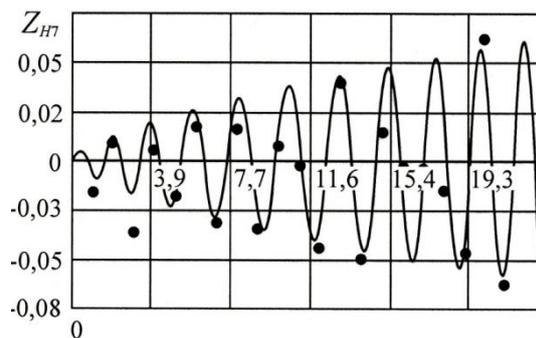


Рис. 9. График убывающей к терминальному побегу волновой адаптации по седьмой составляющей искомой закономерности за весь возраст дерева ели, включая отпавшие мутовки в бессучковой зоне ствола ( $s = 0,0170$ ;  $r = 0,8992$ )



Все частичные колебания остались позади за ретроспективное время в 23 года (от ранга 22), которое является возрастом кроны. А возраст самого дерева гораздо больше, но об этом в источнике [7] мы не нашли сведений. Таким образом, крона ели имеет свой собственный возраст, меняющийся в ходе жизнедеятельности дерева в зависимости от условий произрастания.

О возрасте кроны свидетельствует график на рис. 9, из которого видно убывающее колебание (справа налево в биологическом времени) прироста ствола в высоту. Это почти мистическое для нас 23-летнее явление из-за сходства крайних точек волны с формой кроны ели характеризуется уравнением

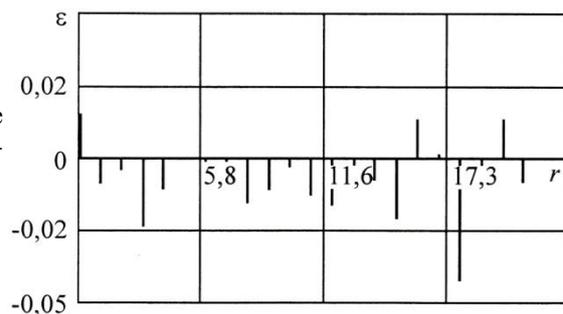
$$Z_{H7} = A_5 \cos(\pi r / p_5 - 1,67400);$$

$$A_5 = 0,0087988^{0,62970}; p_5 = 0,71475 + 0,026519^{1,28863} \exp(-0,064398^{0,99442}). \quad (7)$$

Вполне может оказаться, что такое колебательное возмущение в ретроспективное время продолжится до начала жизни дерева (проростка). Дело в том, что почти до 30-летнего возраста ельника наблюдаются затухающие колебания таксационных показателей в процессе адаптации популяции к условиям произрастания, и только после этого можно с уверенностью назвать деревья-лидеры. Человек меняет условия своего обитания так быстро и фундаментально, что деревья ели за почти 350 млн лет своей эволюции просто не успели привыкнуть к революционным изменениям во внешней среде.

Разница между фактическими и расчетными значениями изучаемого показателя приведена на рис. 10. Они уже почти равны ошибке измерений в 0,01 м, поэтому смещение точек вниз показывает только необходимость «встряски» всех составляющих готовой математической модели из семи составляющих для повышения ее точности.

Рис. 10. Остатки или абсолютные погрешности статистической модели прироста ели по мутовкам сверху вниз



Таким образом, все семь составляющих одной общей формулы поведения ели были идентифицированы по замерам расположения мутовок на стволе. Это дает уверенность, что на учетных деревьях можно проводить мониторинг окружающей среды на возраст кроны даже одной единственной ели, растущей на данной территории сельской или городской местности.

Для ели любого класса роста применима общая формула

$$Z_H = Z_{H1} + Z_{H2} + Z_{H3} + Z_{H4} + Z_{H5} + Z_{H6} + Z_{H7}, \quad (8)$$

где  $Z_H$  – годичный прирост в высоту, начиная с года проведения измерений вглубь ретроспективного биологического времени дерева, м;

$Z_{H1}, \dots, Z_{H7}$  – составляющие прироста ствола по мутовкам в системе координат с началом от макушки терминального побега до корневой шейки, м,

$$Z_{H1} = Z_0 \exp(a_1 r^{a_2}); Z_{H2} = -a_3 r^{a_4} \exp(-a_5 r^{a_6});$$

$$Z_{H3} = A_1 \cos(\pi r / p_1 - a_{14}); A_1 = a_7 r^{a_8} \exp(-a_9 r^{a_{10}}); p_1 = a_{11} \pm a_{12} r^{a_{13}};$$

$$Z_{H4} = A_2 \cos(\pi r / p_2 \pm a_{22}); A_2 = a_{15} r^{a_{16}} \exp(-a_{17} r^{a_{18}}); p_2 = a_{19} \pm a_{20} r^{a_{21}};$$

$$Z_{H5} = A_3 \cos(\pi r / p_3 \pm a_{30}); A_3 = a_{23} r^{a_{24}} \exp(-a_{25} r^{a_{26}}); p_3 = a_{27} \pm a_{28} r^{a_{29}};$$

$$Z_{H6} = A_4 \cos(\pi r / p_4 \pm a_{38}); A_4 = a_{31} r^{a_{32}} \exp(-a_{33} r^{a_{34}}); p_4 = a_{35} \pm a_{36} r^{a_{37}};$$

$$Z_{H7} = A_5 \cos(\pi r / p_5 \pm a_{46}); A_5 = a_{39} r^{a_{40}}; p_5 = a_{41} \pm a_{42} r^{a_{43}} \exp(-a_{44} r^{a_{45}});$$

$Z_0$  – прирост терминального побега за текущий год, м;

$a_1, \dots, a_{46}$  – параметры, вычисляемые по измерениям мутовок ели и показывающие частичные процессы адаптации к условиям роста ствола в биологическом времени от проростка ели до рубки;

$r$  – ранг (номер) мутовки при счете сверху вниз; для терминального побега при измерениях в конце осени или начале зимы  $r = 0$ , а для первой от него мутовки  $r = 1$ ;

$A_1$  – амплитуда (половина) колебательного возмущения прироста верхушки модельного дерева за последние несколько лет, м;

$p_1$  – половина периода колебания прироста верхушки за эти же годы, лет;

$A_2, \dots, A_4$  – амплитуды (половины) колебания прироста между мутовками модельного дерева за годы их существования, м;

$p_2, \dots, p_4$  – половина периода колебания прироста ствола между мутовками, лет;

$A_5$  – амплитуда колебания прироста ствола от терминального побега до корневой шейки с учетом отмерших ветвей, отпавших сучьев и заросших древесиной мутовок за весь период роста дерева, м;

$p_5$  – половина периода колебания прироста ели за это же время, лет.

Сущность способа заключается в том, что ретроспектива по простым измерениям роста и прироста ели по мутовкам, располагающимся на некротических секциях ствола, позволяет идентифицировать с помощью выявленных статистических закономерностей волновые процессы, происшедшие в жизни ели. Деревья этого вида легко адаптируются в городской среде, устойчивы в озеленении. Волновые возмущения в приросте по мутовкам показывают адаптацию породы к окружающей среде.

Выявление статистических закономерностей роста ели позволит управлять лесными плантациями этой породы, выращивать здоровые ельники, а также определять экологические пределы их выносливости. Положительный эффект заключается также в том, что измерения можно выполнять и на учетных деревьях, не проводя рубку моделей, а затем и вообще отказавшись от них при таксации ельников.

Новизной является измерение ствола тремя способами:

по снижению диаметров для технической оценки древесины ствола, что важно в таксации [6];

по увеличению диаметров для экологической оценки ельника и территорий, на которых произрастают исследуемые одиночные или групповые деревья ели в парках и культурных ландшафтах [6];

по расстояниям между мутовками, включая длину терминального побега.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин, Н.П.* Лесная таксация [Текст] / Н.П. Анучин. – Изд-е 5-е, доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
2. *Мазуркин, П.М.* Дендрометрия. Статистическое древоведение [Текст]: учеб. пособие. Ч. 1 / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 308 с.; Ч. 2. – Там же. – 205 с.
3. *Мазуркин, П.М.* Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей [Текст]: учеб. пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 292 с.
4. *Мазуркин, П.М.* Основы научных исследований [Текст]: учеб. пособие / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 412 с.
5. *Мазуркин, П.М.* Экологический мониторинг (способы испытания деревьев) [Текст]: учеб. пособие / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 224 с.
6. Пат. 2201593 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 N 33/46, A 01 G 23/00, A 01 G 23/02. Способ анализа древесного ствола [Текст] / П.М. Верхунов, П.М. Мазуркин (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 2001116223/13; заявл. 13.06.2001; опубл. 27.03.2003, Бюл. № 5.
7. *Старостин, В.А.* О распределении ветвей по толщине в кроне ели в лесных культурах [Текст] / В.А. Старостин // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1991. – С.105–109.

Поступила 30.05.08

*P.M. Mazurkin, A.O. Popova*  
Mari State Technical University

#### **Distribution Regularities of Spruce Verticils**

The identification method of spruce growth regularities in the past is shown on the concrete example based on the verticils' accretion measurements and distances between them top-down starting from the terminal sprout.

Keywords: spruce, verticils, stem accretion, growth in the past.

---

УДК 630\*232.11

***Е.Н. Наквасина, А.И. Барабин***

Архангельский государственный технический университет

Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 180 печатных работ в области лесовосстановления и экологии экосистем.

E-mail: [nakvasina@agtu.ru](mailto:nakvasina@agtu.ru)



Барабин Александр Иванович родился в 1939 г., окончил в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Архангельского государственного технического университета. Имеет около 150 печатных работ в области лесосеменного мониторинга древесных пород на Европейском Севере России.

Тел.: (8182) 21-61-56



## **РОСТ ПОЛУСИБСОВЫХ МЕЖГЕОГРАФИЧЕСКИХ ГИБРИДОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ\***

В испытательных культурах северной подзоны тайги (Пинежский лесхоз) изучен рост в высоту и по диаметру, а также состояние ассимиляционного аппарата 16-летнего потомства сосны обыкновенной северотаежного происхождения, полученного при полусибсовом скрещивании со среднетаежной сосной в географических культурах Плесецкого лесхоза Архангельской области.

*Ключевые слова:* межгеографические гибриды, сосна обыкновенная, рост, ассимиляционный аппарат.

Внутривидовая гибридизация географически отдаленных рас привлекает внимание селекционеров в связи с отсутствием несовместимости между родительскими парами по сравнению с межвидовыми скрещиваниями. Используя эффект гибридизации различных, чаще территориально удаленных географических форм, ученые рассчитывают на объединение в потомстве желательных признаков, в частности высокой устойчивости северных и повышенной продуктивности южных популяций [1, 4–6, 8 и др.]. Каких-либо закономерностей межгеографических скрещиваний не установ-

---

\* Исследования поддержаны грантом РФФИ и администрации Архангельской области № 05-04-97509.

лено. В молодом возрасте культур гибриды сосны, полученные от скрещивания северных и южных рас, занимали по высоте промежуточное положение. Явного гетерозисного эффекта не наблюдалось. В отдельных вариантах скрещивания отмечалось усиление роста в высоту, как правило, не превышавшее 30 % (реже до 50 %); в ряде случаев эффект был отрицательным и устойчивость потомства снижалась.

В то же время оценка семян северных экотипов сосны, выращенных в средней подзоне тайги, методами ранней диагностики (распределение всходов по числу семядолей) показала, что полученное при спонтанном опылении гибридное потомство может оказаться более быстрорастущим и устойчивым к неблагоприятным факторам среды, чем чисто северные потомки [2]. Однако наиболее достоверной и надежной является проверка семенного потомства по росту и выживаемости сеянцев и саженцев в питомнике и на лесокультурной площади. Она дает возможность не только оценить адаптационные характеристики потомства, но и уточнить регионы использования семян при их промышленной заготовке на лесосеменных плантациях, создаваемых клонами (семьями) северных экотипов сосны в более южных условиях.

В 10–15-летних географических культурах Архангельской области (Плесецкий лесхоз) были получены семена сосны обыкновенной – спонтанного полусибирского потомства. Материнскими насаждениями выступали климатипы северного происхождения, ранее других потомств

Таблица 1

**Рост сосны в географических культурах второго поколения на широте 64°54' ( $t_{st} = 2,00$ )**

№ климатипа	Происхождение материнских насаждений (область, с. ш.)	Высота, м		Диаметр на 1,3 м, см		Диаметр на 0,1 м, см	
		$X \pm m$	$t$	$X \pm m$	$t$	$X \pm m$	$t$
2А	Мурманская*, 67°00'	2,53±0,09	1,63/1,06	2,39±0,17	3,63/1,58	3,77±0,18	3,11/2,18
3А	Архангельская*, 64°45'	2,57±0,07	1,47/0,85	2,50±0,12	3,59/1,30	3,88±0,10	3,09/2,11
3	» 64°45'	2,68±0,11	0,67/-	2,77±0,17	2,27/-	4,39±0,22	1,21/-
4	» 62°54'	2,80±0,14	-/0,67	3,40±0,22	-/2,27	4,83±0,29	-/1,22

Примечание. Звездочкой обозначены межгеографические гибриды. В числителе существенность различия относительно потомства популяции-опылителя, в знаменателе – относительно потомства популяции на широте произрастания.

вступившие в репродукцию. Явление протерогении, наблюдавшееся в первые годы, способствовало опылению макростробилов пыльцой окружающих сосняков (среднетаежная сосна). Полученный посевной материал использован для создания серии испытательных культур второго поколения, заложенных в разных лесхозах Европейского Севера. В Республике Коми

обследованы 8-летние культуры [3]. В настоящем сообщении приводятся результаты обследования 16-летних культур второго поколения\* в Пинежском лесхозе Архангельской области, заложенных в 1989 г. авторами совместно с работниками лесхоза.

В опыте представлено межгеографическое потомство следующих климатипов: № 2А – Кандалакшский лесхоз Мурманской области, № 3А – Пинежский лесхоз Архангельской области, № 3 и 4 – два варианта контроля – сеянцы из семян хозяйственной заготовки соответственно из Пинежского (северная подзона тайги) и Плесецкого (средняя подзона тайги) лесхозов Архангельской области. Лесокультурная площадь представляла нераскорчеванную вырубку из-под сосняка брусничного. Подготовка почвы проводилась плугом ПДП-1 путем напашки борозд. Расстояние между бороздами до 5 м, шаг посадки сеянцев 0,7...0,8 м. Площадь опыта 1 га, число растений по вариантам 200...400 шт., приживаемость 85...91 %. В связи с удаленностью пробной площади уходов за культурами не было. В возрасте 16 лет сохранность культур колебалась от 41 до 65 %. Во всех вариантах сосна прямостоячая, началась репродукция.

Высота сосны по вариантам колеблется незначительно (2,5...2,8 м), различия между потомствами недостоверны (табл. 1). Наибольшая она

Таблица 2

**Характеристика хвои сосны в географических культурах второго поколения на широте 64°54'**

№ климатипа	Длина хвои, см	Масса 10 хвоинок, мг	Охвоенность, шт./см	Длина хвои, см	Масса хвои, мг
				в расчете на 1 см побега	
2А	3,20 ± 0,14	95 ± 3	11,1 ± 1,5	35,5	1,06
3А	3,50 ± 0,08	98 ± 3	13,8 ± 0,4	48,3	1,26
3	3,00 ± 0,11	80 ± 3	14,5 ± 0,7	43,3	1,16
4	3,30 ± 0,10	97 ± 3	13,8 ± 0,7	46,0	1,34

у потомства среднетаежной сосны (Плесецкий лесхоз), наименьшая у полусибсовых гибридов северотаежного происхождения. Ранговое распределение потомств по диаметру на высоте груди и у шейки корня аналогично высоте, но различия более заметны (2,4...3,4 и 3,8...4,8 см соответственно). Максимальный радиальный прирост у среднетаежного потомства плесецкой сосны, минимальный у спонтанного потомства мурманской сосны. Гибриды отстают в росте как от местной северотаежной сосны, так и от потомства сосны-опылителя. Наиболее существенные различия проявляются по диаметру у шейки корня. Различия между гибридными потомствами и контрольными вариантами – сосной местного происхождения и среднетаежной, выступавшей в качестве опылителя, – доказаны на 5 %-м уровне значимости.

Потомство плесецкой сосны, произрастающее на 2° севернее материнского насаждения, сохраняет более интенсивный рост по сравнению с

\* В обследовании культур принимали участие канд. биол. наук Н.А. Прожекина, канд. с.-х. наук П.А. Тихонов и ведущий инженер Пинежского лесхоза Л.П. Черкас.

одновозрастными культурами северотаежного происхождения. Рост меж-географических гибридных потомств (северо- × среднетаежные) снижается, несмотря на участие генов среднетаежной сосны-опылителя.

○ Развитие ассимиляционного аппарата гибридных и автохтонных потомств оценивали по ряду показателей (табл. 2). Образцы хвои отбирали с побегов текущего года, с пятой мутовки от вершины дерева. Закономерности развития хвои (длина, масса, охвоенность побега) аналогичны росту потомства в высоту и по диаметру. Лучшие показатели имеет сосна из средней подзоны тайги, сохраняющая более высокую интенсивность роста и при выращивании в северной тайге. Меньше развит ассимиляционный аппарат у гибридных потомств мурманской популяции. В то же время по длине и массе хвои гибридные потомства превосходят одновозрастное потомство сосны обыкновенной автохтонного северотаежного насаждения, что может быть результатом скрещивания со среднетаежной расой.

С точки зрения наследования признаков интересно сравнить рост полусибсового потомства сосны и культур автохтонного происхождения, в частности географических культур Плесецкого лесхоза Архангельской области, которые служили маточным насаждением для полусибсовых гибридов. Учитывая разный возраст культур первого и второго поколений, использовали показатель относительной успешности роста ( $Q$ ) по сравнению с контрольным вариантом, выражаемый в единицах стандартного отклонения [7]. Для потомств в географических культурах первого поколения в качестве контрольного был взят местный климатип № 4 (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика 15-летнего потомства в географических культурах первой генерации на широте 62°54'**

№ климатипа	Высота		Диаметр на 0,1 м		Длина хвои	
	см	$Q$	см	$Q$	см	$Q$
2*	2,83	-1,64	4,2	-1,86	3,45	-1,62
3	2,78	-1,79	4,4	-1,53	3,53	-1,38
4	3,37	-	5,3	-	4,00	-

\*Мурманская область, 67°00' с. ш.

Для потомства северотаежных климатипов сосны, выращиваемых в Архангельской области (средняя подзона тайги), характерны отрицательные значения показателя относительной успешности роста в высоту, по диаметру и длине хвои по сравнению с местным автохтонным потомством. Северотаежные потомства растут менее интенсивно, чем среднетаежные, что сохраняется и при их произрастании в более южных условиях. Однако хорошо заметно, что выращивание мурманского и пинежского потомств сосны в более благоприятных условиях средней подзоны тайги нивелирует градиент снижения показателей в связи с удаленностью к северу.

При скрещивании северотаежных и среднетаежных сосен для большинства показателей сохраняются отрицательные значения относительной успешности роста (табл. 4) как при сравнении потомства популяции-опылителя, так и автохтонной (материнской). Наибольшие различия в росте

потомств гибридного и популяции-опылителя свидетельствуют о меньшем генетическом влиянии отцовского генотипа при скрещивании. Различия в росте гибридных потомств и автохтонных популяций места произрастания культур меньше, однако все же значительны (0,60...1,27).

В отличие от высоты и диаметра для длины хвои отмечены положительные значения относительной успешности роста  $Q$ . У гибридных потомств сосны, растущих в более суровых условиях северной подзоны тайги, заметно усилился рост хвои в длину по сравнению с материнскими популяциями, произрастающими в средней подзоне. Наибольший гибридационный эффект характерен для пинежской сосны, наименьший – для медленно-растущей мурманской.

Таблица 4

**Селекционный эффект гибридного потомства сосны  
в географических культурах второго поколения (на широте 64°45')**

Биометрические показатели	Показатель $Q$ климатипа	
	2А	3А
Высота	-2,23/-1,24	-1,90/-0,94
Диаметр:		
на 1,3 м	-2,24/-0,62	-2,60/-0,60
на 0,1 м	-2,16/-1,27	-1,94/-1,04
Длина хвои	-0,48/+0,95	+0,95/+2,38

Примечание. В числителе – относительно популяции-опылителя; в знаменателе – относительно популяции места произрастания.

Таким образом, 16-летнее полусибсовое потомство сосны обыкновенной, полученное в результате межгеографического скрещивания северо-таежных климатипов (мурманский, пинежский) с сосной из средней подзоны тайги, несколько отстает в росте по высоте и диаметру от одновозрастного потомства автохтонных насаждений места выращивания и места репродукции. В потомстве сохраняются наследственно закрепленные особенности медленного роста сосны северного происхождения. В то же время гибриды отличаются усиленным формированием ассимиляционного аппарата, что, прежде всего, проявляется в длине и массе хвои. По этим показателям они приближаются к одновозрастным соснам среднетаежной расы. Подобный эффект гибридизации отмечался нами при изучении полусибсовых гибридов близкого происхождения в географических культурах второго поколения в Республике Коми при испытании на широте 61°41' с. ш. [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манцевич, Е.Д. Общая комбинационная способность некоторых провениций сосны обыкновенной при внутривидовых скрещиваниях [Текст] / Е.Д. Манцевич, Л.М. Сероглазова // Лесоведение и лесн. хоз-во. – Минск: Вышейш. шк., 1983. – № 18. – С. 51–54.

2. *Наквасина, Е.Н.* Географическая изменчивость как основа семеноводства сосны обыкновенной [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Е.Н. Наквасина. – СПб.: ГЛТА, 2000. – 38 с.

3. *Наквасина, Е.Н.* Испытание межгеографических полусибсовых гибридов сосны обыкновенной в средней подзоне тайги [Текст] / Е.Н. Наквасина // Лесн. журн. – 2001. – № 2. – С. 15–20. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Ненюхин, В.Н.* Скрещивание географических экотипов сосны обыкновенной [Текст] / В.Н. Ненюхин // Тез. Всесоюз. совещ. по лесн. генетике, селекции и семеноводству (1–4 ноября 1983 г.). – Петрозаводск, 1983. – С. 25–26.

5. *Хагнер, М.* Испытание экотипов сосны в Швеции в прошлом и будущем [Текст] / М. Хагнер; пер. ВНИИЛМ // Публикации Королевск. лесн. ин-та. – Стокгольм, 1975. – № 65.

6. *Хагнер, М.* Обзор исследований по происхождению сосны в Швеции и их перспективы [Текст] / М. Хагнер // Докл. ученых-участников Междунар. симпозиума по селекции, генетике и лесн. семеноводству хвойных пород. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. – С. 172–192.

7. *Giertych, M.* Summary results of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IUFRO provenance experiments [Text] / M. Giertych // *Silvae Genetica*. – 1979. – Vol. 4. – P. 136–152.

8. *Park, Y.S.* Population hybridization in Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.). 1. Genetic variance components and heterosis [Text] / Y.S. Park, H.D. Gerhold // *Silvae Genetica*. – 1986. – Vol. 35, N 4. – P. 159–165.

Поступила 30.11.06

*E.N. Nakvasina*  
Arkhangelsk State Technical University

### **Growth of Half-sibs Interprovenance Hybrids of Scotch Pine in Trial Cultures of Northern Taiga Subzone in Arkhangelsk Region**

Height and diameter growth are studied in the trial cultures of northern taiga subzone (Pinega forestry enterprise), as well as the assimilation apparatus of 16-year old progeny of the Scotch pine of northern taiga origin produced at half-sibs cross-breeding with middle-taiga pine in the provenance trials of the Plesetsk forestry enterprise in the Arkhangelsk region.

Keywords: interprovenance hybrids, Scotch pine, growth, assimilation apparatus.

---

УДК 630\*232.315.4

*Л.Т. Свиридов, Н.Д. Гомзяков, А.И. Новиков, А.Н. Томилин*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Свиридов Леонид Тимофеевич родился в 1948 г., окончил в 1975 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, проректор по научной работе Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, академик РАЕН. Имеет более 440 научных работ в области механизации лесохозяйственных работ, технологии лесовосстановления, обработки лесосеменного материала, рационального использования лесных ресурсов, малоотходной и безотходной обработки древесины.  
E-mail: [nis@vglta.vrn.ru](mailto:nis@vglta.vrn.ru), [rnoc@vglta.vrn.ru](mailto:rnoc@vglta.vrn.ru)



Гомзяков Николай Дмитриевич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, докторант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 95 печатных трудов в области создания технических средств для лесозаготовительных производств и технологического комплекса машин и оборудования для обработки лесных семян.  
E-mail: [rnoc@vglta.vrn.ru](mailto:rnoc@vglta.vrn.ru)



Новиков Артур Игоревич родился в 1978 г., окончил в 1999 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент ВГЛТА. Имеет более 75 печатных трудов в области механизированных процессов обработки лесных семян при лесовосстановлении и лесоразведении.  
E-mail: [karlss0n@mail.ru](mailto:karlss0n@mail.ru)



Томилин Александр Николаевич родился в 1951 г., окончил Воронежский сельскохозяйственный институт, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 23 печатных труда в области обработки лесных семян и создания машин и оборудования для извлечения лесных семян из плодов-бобов древесно-кустарниковых пород.  
E-mail: [rnoc@vglta.vrn.ru](mailto:rnoc@vglta.vrn.ru)



## **О НОВОМ ПЕРСПЕКТИВНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛЕСНЫХ СЕМЯН**

Представлен новый перспективный технологический комплекс машин и оборудования для обработки лесных семян. Его использование позволяет получать высококондиционные семена для выращивания укрупненного посадочного материала основных лесобразующих пород в питомниках без перешколивания.

*Ключевые слова:* лесовосстановление, лесные семена, технологический комплекс машин.

В России, как и во всем мире, наблюдается ежегодное сокращение лесных площадей; в нашей стране ценными породами они восстанавливаются лишь на 10...15 %. В последние годы наметилась тенденция повыше-

ния объема лесокультурных работ посевом и посадкой [3, 9]. Например, в 2005 г. они были проведены на площади около 153, в 2006 г. – 164, в 2007 г. – 187,5 тыс. га, план 2008 г. составлял 250 тыс. га, во втором десятилетии XXI в. доля восстанавливаемых посевом и посадкой лесов должна достигнуть 80 % общего объема. Неслучайно руководитель Рослесхоза В. Рощупкин отмечал необходимость смещения акцента с заращивания на высокоэффективные посадки и посев леса с улучшенными качествами. В новом Лесном кодексе, наряду с положениями о лесопользовании, впервые уделено внимание воспроизводству лесов и лесоразведению, лесному семеноводству.

По оценкам специалистов, для выполнения лесокультурных работ сейчас и в перспективе потребность в семенах равна 10...12 тыс. т, в том числе 500...700 т хвойных пород. Для получения высококондиционного посевного материала требуется специальная обработка: обескрыливание, очистка, сортирование и калибрование. На данном этапе практически нет машин для этих целей, а применяемые технологически устарели и неэффективны.

В ВГЛТА на протяжении многих лет проводятся исследования [1, 2, 4–8, 10, 11], связанные с разработкой технологического комплекса, который мог бы обеспечить весь цикл предпосевной обработки семян. Он включает ряд машин и оборудования, имеющих перспективное значение: машину для извлечения лесных семян из плодов-бобов; универсальную малогабаритную семяочистительную машину; пневмосепаратор лесных семян; сепараторы решетного, вальцового и дискового типов. Все эти конструкции обеспечивают непрерывность процесса по каждой технологической операции и защищены патентами РФ.

*Машина для извлечения лесных семян из плодов-бобов* (рис. 1) осуществляет, кроме этого, их обескрыливание и первичную очистку. Она состоит из загрузочного бункера и шелушильной камеры, объединенных в загрузочно-шелушильное устройство, воздушно-решетного устройства, рамы и клиноремного привода с электродвигателем. Отличительной

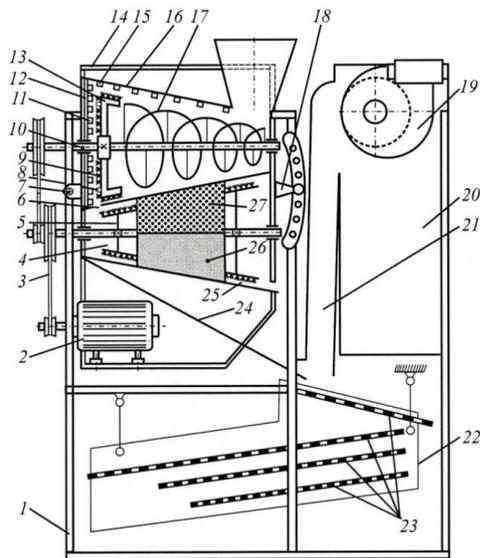


Рис. 1. Схема машины для извлечения лесных семян из плодов-бобов: 1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – клиноременная передача; 4 – рабочая камера; 5 – щеточный барабан; 6 – загрузочное окно рабочей камеры; 7 – ось корпуса загрузочно-шелушильного устройства; 8 – штифты крыльчатки; 9 – щеточные элементы; 10 – вал шнекового щеточного питателя; 11 – штифты рабочего диска (расположены по синусоиде); 12 – рабочий диск загрузочного бункера; 13 – крыльчатка с Г-образными лопастями; 14 – корпус загрузочно-шелушильного устройства; 15 – радиальные штифты загрузочного бункера; 16 – загрузочный бункер; 17 – шнековый щеточный питатель; 18 – держатель корпуса поворотный; 19 – вентилятор; 20 – осадочная камера; 21 – аспирационный канал; 22 – решетный стан; 23 – решетка; 24 – отводной лоток; 25 – выгрузное окно рабочей камеры; 26 – нижняя крышка рабочей камеры (съёмная); 27 – верхняя крышка рабочей камеры

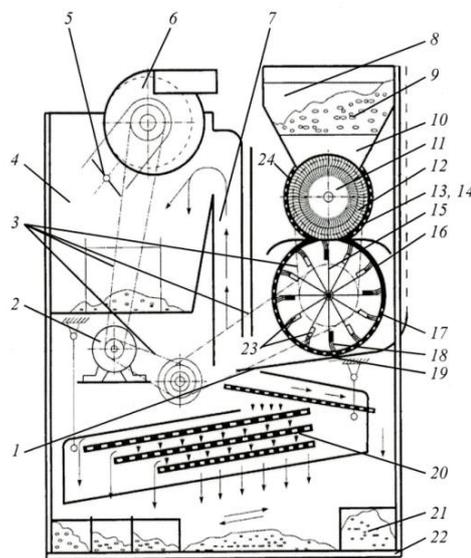


Рис. 2. Схема универсальной малогабаритной семяочистительной машины: 1 – приемный лоток; 2 – электродвигатель; 3 – клиноременная передача; 4 – осадочная камера; 5 – дроссельная заслонка; 6 – вентилятор; 7 – аспирационный канал; 8 – загрузочный бункер; 9, 11 – верхний и нижний отсеки загрузочного бункера; 10 – днище; 12 – шнеково-щеточный питатель; 13, 14 – загрузочное и разгрузочное отверстия; 15 – обескряливающий барабан; 16, 17 – верхний и нижний полуцилиндры; 18 – основные щеточные элементы; 19 – разгрузочное окно обескряливателя; 20 – решетный стан; 21 – сборники семян; 22 – рама; 23 – дополнительные щеточные элементы; 24 – сетчатая рабочая поверхность

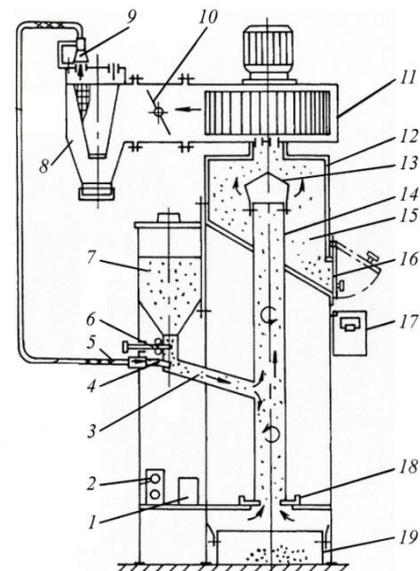
особенностью машины является то, что в бункере загрузочно-шелушильного устройства имеется рабочий диск со штифтово-щеточными элементами, обеспечивающими дополнительное разрушение плодов-бобов в целях более полного по сравнению с базовым вариантом извлечения семян за один проход (Пат. 47618 РФ).

*Универсальная малогабаритная семяочистительная машина* (рис. 2) непрерывного действия (А.с. 1528358, 1628958 СССР, Пат. 2089055, 2235450 РФ) предназначена для первичной обработки семян хвойных растений при двухстадийном воздействии рабочих органов на семена, осуществляемом по непрерывной схеме. На первой стадии отделение крылаток происходит в загрузочном бункере (мягкий режим), на второй – непосредственно в обескрыливателе (нормальный режим). Предварительная очистка проводится в воздушной системе, состоящей из вертикального аспирационного канала, осадочной камеры и вентилятора, а сортирование – на решетном стане. Загрузочный бункер и обескрыливатель объединены в единый блок, называемый загрузочно-обескрыливающим устройством непрерывного действия, в котором происходит последовательная сепарация семян через сетки с мелкой, средней и крупной ячейками.

*Пневмосепаратор лесных семян* (рис. 3) используется как при первичной, так и при вторичной их обработке. Основу последней составляет пневмосортирование семян в воздушном потоке по плотности на легкую и тяжелую фракции. В конструкции пневмоканал совмещен с осадочной камерой (Пат. 2150338 РФ), при этом над ней установлен вентилятор, а в нижней части пневмоканала бункер для засыпки семян. Пневмосепаратор снабжен дозирующим устройством, герметично совмещенным с воздуховодом, что позволяет упростить конструкцию, удешевить ее производство, повысить производительность и качество разделения семян на фракции.

*Решетный сепаратор* предназначен для вторичной очистки и сортирования тяжелой фракции семян. В его конструкцию внесены принципиально новые элементы, основанные на использовании технологического принципа негармонических колебаний решетного стана с возможностью изменения

Рис. 3. Схема пневмосепаратора лесных семян: 1, 2 – электромагнитный и кнопочный пускатели; 3 – семенной лоток; 4 – штуцер; 5 – воздуховод; 6 – дозатор; 7 – загрузочный бункер; 8 – пылесборник; 9 – воздухозаборник; 10 – заслонка вентилятора; 11 – вентилятор; 12 – рама; 13 – отражатель; 14 – воздушный канал; 15 – осадочная камера; 16 – крышка осадочной камеры; 17 – приемник для легких семян; 18 – заслонки; 19 – приемник для тяжелых семян



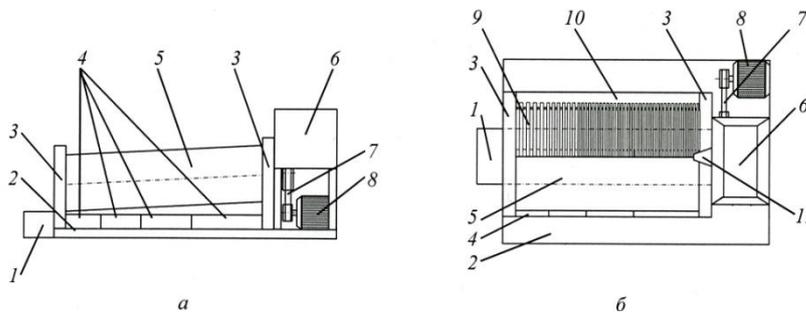


Рис. 4. Схема сепаратора дискового типа: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – приемник для трудноотделимых примесей; 2 – основание; 3 – рама; 4 – приемники для семян; 5 – ориентирующе-сортирующее устройство; 6 – загрузочный бункер; 7 – клиноременный привод; 8 – электродвигатель; 9 – дисковый рабочий орган; 10 – противоходный отсекатель семян; 11 – питатель

длины и амплитуды колебаний решет (Пат. на полезную модель 46685 РФ). Разработаны новые элементы дозирующей системы, предусматривающие установку гребенчатой регулировочной заслонки в зоне выпускной щели загрузочного бункера и отсечение питателя от семенной массы специальной наклонной перегородкой (Пат. 2167725 РФ). Эти особенности позволяют повысить качество очистки на 6...8 % и производительность на 8...13 % по сравнению с базовым вариантом.

В технологический комплекс машин и оборудования включены также вальцовые сепараторы, обеспечивающие безрешетное сортирование семян на различное число фракций. Принцип работы сепараторов заключается в перемещении сортируемых семян в узком пространстве между двумя наклонными цилиндрическими вальцами (или дисковыми рабочими органами) с размерами щели от минимального в зоне подачи (начало разделения) к увеличивающемуся в зоне их окончательного разделения.

*Вальцовые сепараторы* (Пат. 2111068, 2170147 РФ) предназначены для калибровки семян и выделения мелких примесей. Актуальность и новизна конструкций заключается в использовании в качестве рабочих органов гладких вальцов, вращающихся в противоположные стороны, или ступенчатых, расположенных попарно, с питателем, выполненным в виде пары наклонных, вращающихся в противоположные стороны гладких вальцов, установленных в начале сортирования (Пат. 2170147 РФ). Использование вальцовых сепараторов позволяет достичь чистоты семенной массы 96...98 %, практически полностью исключив ее травмирование.

*Дисковый сепаратор* (рис. 4) обеспечивает калибровку семян и выделение трудноотделимых примесей (хвои). В основу конструкции положен технологический принцип перемещения сортируемых по длине семян в пространстве между скатной доской (или гладким вальцом) и вращающимся цилиндром, составленным из дисков различного диаметра, которые образуют между собой кольцевые щели прямоугольного сечения с размером щели от минимального в зоне подачи (начало разделения) к увеличивающемуся в зоне окончательного разделения (Пат. 2179079 РФ).

Использование технологического комплекса для получения высококондиционных семян и их последующего дифференцированного высева на лесокультурных площадях и в питомниках позволяет к концу второго года получить стандартный посадочный материал. При этом исключается перешколивание и сокращаются общие затраты. В настоящее время уточняются некоторые конструктивные и технологические параметры машин и оборудования.

Инновационные разработки демонстрировались на VII и VIII Московских международных салонах инноваций и инвестиций (2007–2008 гг.) и отмечены серебряными медалями и дипломами. На региональном уровне технологический комплекс отмечен дипломами первой степени ряда выставок: «Инновации. Производство. Рынок» (25–27 октября 2006 г., Ярославль), «Воронежская промышленная выставка. Роспромэкспо» (7–9 февраля 2007 г., Воронеж), «Воронежская область – Ваш партнер» (20–22 июня 2007 г., Воронеж), «Воронежский промышленный форум» (6–8 февраля 2008 г., Воронеж).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воспроизводство лесов по высокой технологии с применением новых технических средств для обработки семян [Текст] / Л.Т. Свиридов [и др.] // Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан: сб. науч. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию Казан. гос. аграр. ун-та / отв. ред. А.Х. Газизуллин. – Казань: Школа, 2007. – Вып. 3. – С. 293–298.
2. Гомзяков, Н.Д. О совершенствовании универсальной малогабаритной семяочистительной машины [Текст] / Н.Д. Гомзяков // Новые технологии и устойчивое управление в лесах Северной Европы: тез. докл. Междунар. конф., посвящ. 50-летию ЛИФ ПетрГУ. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. – С. 35–36.
3. Медведева, А. Легкие восстановлены [Текст] / А. Медведева // Рос. лесн. газета. – 2006. – № 29–30 (159–160).
4. Механизация работ по обработке лесных семян [Текст] / Л.Т. Свиридов [и др.] // Эколого-технологические аспекты лесного хозяйства в степи и лесостепи: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А.В. Голубева; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2007. – С. 65–68.
5. Новиков, А.И. О новых способах сортирования лесных семян хвойных пород [Текст] / А.И. Новиков // Леса Евразии в третьем тысячелетии: материалы Междунар. конф. молодых ученых: В 2 т. – М.: МГУЛ, 2001. – Т. 2. – С. 90–91.
6. Свиридов, Л.Т. Перспективные технические средства для обработки семян хвойных пород [Текст] / Л.Т. Свиридов, А.И. Новиков, Н.Д. Гомзяков // Лесн. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 44–46.
7. Свиридов, Л.Т. Сортирование лесных семян [Текст] / Л.Т. Свиридов. – Воронеж: ВГУ, 2002. – 302 с.
8. Свиридов, Л.Т. Состояние и совершенствование технологии и средств механизации для обработки лесных семян [Текст] / Л.Т. Свиридов // Лесотехнически ун-т: юбилейн сб. науч. докладов 75-години высшее лесотехническо образ. в Болгарии. – София, 2000. – С. 105–108.
9. Якубов, И. Семя будущего [Текст] / И. Якубов // Рос. лесн. газета. – 2005. – № 31 (109).

10. *Sviridov, L.T.* Condition and sorting wood coniferous seeds problem solution [Text] / L.T. Sviridov // Third Balkan scientific conference: Study Confrontation and... – Sofia, 2001. – Vol. 2. – P. 128–136.

11. *Sviridov, L.T.* Technological complex of machines for processing seeds of the conifer [Text] / L.T. Sviridov, A.I. Novikov, N.D. Gomzyakov // FORMEC-2006. 39th international symposium on forestry mechanization, 24-28 September 2006: proceedings. – Sofia: University of Sofia, 2006. – P. 272–275.

Поступила 10.06.08

*L.T. Sviridov, N.D. Gomzyakov, A.I. Novikov, A.N. Tomilin*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

### **On New Perspective Technological Complex of Machines and Equipment for Forest Seeds Treatment**

New perspective technological complex of machines and equipment for forest seeds treatment is provided. Its use allows to produce high-conditioned seeds for growing the aggregative planting material of the main forest-forming species in the nurseries without **перешколиванию**

Keywords: reforestation, forest seeds, technological complex of machines.

---

УДК 502\*55:656.13

*И.В. Голядкина*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Голядкина Инна Вячеславовна родилась в 1983 г., окончила в 2005 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры лесомелиорации, почвоведения и озеленения ВГЛТА. Имеет 2 печатные работы в области техногенного воздействия на окружающую среду.  
E-mail: lesomel@ya.ru



## **ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС**

Приведены результаты исследования лесных сообществ зоны наблюдения АЭС и анализ их производных формаций.

*Ключевые слова:* атомная электростанция, антропогенные факторы, биогеоценоз, лес, сукцессия.

Нововоронежская АЭС (НВАЭС) – одна из наиболее крупных в России – расположена в центрально-черноземной зоне, в 30 км к югу от границы перспективной застройки г. Воронежа. Первый блок был введен в эксплуатацию в 1964 г. Строительство и эксплуатация любого энергетического объекта отражается на жизнедеятельности природных комплексов, условиях жизни населения и хозяйственной деятельности в регионе. Если эти воздействия оказываются достаточно большими, то их последствиями могут стать негативные сукцессии в биогеоценозах, нарушение гомеостаза, изменения среды обитания человека [1].

Наши исследования проведены в зоне наблюдения радиусом 30 км, установленной санитарно-гигиеническим законодательством. Естественные и антропогенно-преобразованные насаждения региона НВАЭС сформировались под воздействием, прежде всего, зональных климатических и почвенных факторов зоны лесостепи. В настоящий период растительность здесь представлена луговыми и болотными сообществами пойм, естественными и искусственными лесами (см. таблицу), лугово-степными и незначительно степными сообществами надпойменных террас. Эти сообщества сильно преобразованы по сравнению с естественными, но они унаследовали напочвенный покров и значительную часть видового состава.

Одной из задач работы является оценка природных сообществ зоны НВАЭС и влияния факторов, связанных со строительством и эксплуатацией атомной станции. Под антропогенным воздействием развивается сукцессия, направленная на формирование сообщества зонального типа, характерного для данного элемента рельефа и ландшафта. В отсутствие постоянно действующих факторов, прежде всего антропогенных, на следующем этапе раз-

вития измененные сообщества приближаются к естественным ненарушенной природы в данном местообитании [2]. Очевидно, что предположения о реакции фитоценозов на те или иные воздействия, а также оценку их состояния необходимо давать с учетом генерального направления восстановительной сукцессии.

**Распределение лесов 30-километрового региона НВАЭС  
по породам и группам возраста**

Преобладающие древесные и кустарниковые породы	Покрытые лесом земли, тыс. га						
	Все го	Молодняки		Средне- возрастные	При- спе- ваю- щие	Спе- лые	Пере- стой- ные
		I класса	II класса				
Хвойные (доми- нант сосна)	12,98	2,03	7,57	3,24	0,13	0,01	–
Твердолиствен- ные (доминант дуб)	14,98	0,59	1,22	10,67	2,08	0,38	0,04
Мягколиствен- ные (береза, тополь, осина)	3,88	0,42	0,52	1,32	0,77	0,70	0,15
Всего	31,84	3,04	9,31	15,23	2,98	1,09	0,19

В ходе исследования в 30-километровой зоне НВАЭС были выделе- ны несколько типов лесных сообществ. На левобережье р. Дона на плакор- ных местообитаниях они представлены главным образом культурами сосны разного возраста. Самые высокопроизводительные и старовозрастные из сохранившихся в настоящее время достигли возраста 80 лет. Они заложены на песчаных почвах для эффективного использования малопродуктивных земель и рекультивации эродированных местообитаний. Исходное число стволов составляло 3300 экз./га, в настоящее время их около 800 экз./га, распределение по площади неравномерное, имеются окна и участки более густого древостоя. Подрост сосны отмечен только в окнах в незначительном количестве, под пологом сосны имеется подрост груши лесной, ясеня, клена ясенелистного, дуба и редкие кусты подлеска из бересклета бородавчатого, ирги колосистой, акации желтой и бузины. В окнах сосредоточена основная часть фитомассы напочвенного покрова. Наиболее разнообразны экологиче- ские группы борových, в отдельных культурах – луговых и степных видов. Проектное покрытие в окнах увеличивается на 20 %, лучше развит мохо- вой покров. Исследуемые сосновые культуры развиваются в сторону фор- мирования остепненных или зеленомошных борových, а в наиболее старовозра- стных культурах, в большей мере приблизившихся к естественным сосно- вым лесам, обнаруживается тенденция к обогащению широколиственными породами.

Помимо культур сосны, для песчаных почв характерны участки низкобонитетных дубрав, приуроченных к овражной сети и ее окрестностям. Такие злаково-разнотравные дубняки порослевого происхождения появились в результате деградации естественных сосново-дубовых лесов. На момент обследования насаждения достигли 70-летнего возраста, их густота около 1200 экз./га. Деревья дуба угнетены из-за недостаточного богатства почвы, увлажненность местообитания здесь также не всегда удовлетворительна. Кроме того, порослевое происхождение деревьев дуба, о чем свидетельствует их групповое расположение, усиливает подверженность грибным и бактериальным заболеваниям. Выражен ярус клена татарского, подлеска из крушины ломкой и слабительной, бересклета европейского, вишни степной. Имеется подрост дуба и примесь осины, расположенной небольшими группами. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 70 %. Тенденции порослевых низкобонитетных дубрав трудноопределимы, в спелом возрасте дубняки такого качества не представляют ничего ценного и подлежат реконструкции. В этих условиях возможно восстановление исходного соснового леса. Сосняки более высоких классов бонитета адаптированы к песчаным почвам и увлажненности данного местообитания.

Растительный покров на правом берегу р. Дона, в пределах 30-километровой зоны региона НВАЭС, в меньшей степени преобразован хозяйственной деятельностью. Здесь выделены небольшие участки высокопроизводительных ясеневых дубрав с типичным широколиственным напочвенным покровом. Они произрастают на относительно бедных дерново-карбонатных известняковых почвах. На момент обследования возраст насаждения более 100 лет, густота главного яруса 400 экз./га. В составе дубового насаждения имеются примеси ясеня, липы, клена остролистного, в подросте – все породы, а также яблоня лесная. В подлеске, который местами образует сомкнутый ярус, участвуют лещина, бересклет бородавчатый, крушина слабительная и свидина. На опушках отмечена примесь осины, ильма, клена татарского. В основной части сообщества густота напочвенного покрова ниже – проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 25 %. Анализ напочвенного покрова позволяет отнести 100-летний дубняк к исходно широколиственным насаждениям. Здесь и по видовому составу, и по сложению преобладают древесные породы широколиственных лесов, типичный подлесок и снытево-осоковый покров. Данная дубрава имеет во многих отношениях высокую степень сходства с дубравами лесостепи зонального типа и теоретически способна к неопределенно долгому гомеостатическому самоподдержанию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелехов, И.С. Лесоведение [Текст] / И.С. Мелехов. – М.: МГУЛ, 1999. – 398 с.
2. Титов, Е.В. Лесоведение: эволюционные и генетические аспекты [Текст] / Е.В. Титов. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 124 с.

Поступила 10.06.08

*I.V. Golyadkina*

Voronezh State Forest Engineering Academy

**Main Tendencies of Forest Communities' Development in Zones Affected by New-Voronezh Nuclear Power Plant**

The results of forest communities' research of the control area of Nuclear Power Plant and analysis of their derivative formations are provided.

Keywords: atomic power station, anthropogenic factors, biogeocenosis, forest, succession.

---

УДК 630\*907.2

**В.В. Кругляк, Н.П. Карташова**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Кругляк Владимир Викторович родился в 1959 г., окончил в 1986 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 240 печатных работ в области агролесомелиорации, ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства.

E-mail: kruglyak\_vl@mail.ru

Карташова Нелли Павловна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства ВГЛТА. Имеет 33 печатные работы в области ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства.

E-mail: Kartashova\_73@mail.ru



## СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ВОРОНЕЖА\*

Изучено состояние насаждений в городской среде Воронежа. Дана оценка и определена категория жизнеспособности каждого исследуемого дерева, что позволяет определить его дальнейшую судьбу – вырубку, пересадку, защитные мероприятия.

*Ключевые слова:* городские насаждения, оценка состояния, вырубка, пересадка, защитные мероприятия.

Озелененные пространства делят по территориальному признаку и функциональному назначению. По территориальному признаку объекты озеленения бывают внутригородские и расположенные за пределами городской черты. По функциональному назначению выделяют пространства: общего пользования (общегородские и районные парки, специализированные парки; городские сады и сады жилых районов, межквартальные или при группе жилых домов; скверы на площадях, в отступах застройки; бульвары вдоль улиц, пешеходных трасс, на набережных); ограниченного пользования (на участках жилых домов, детских учреждений, школ, вузов, техникумов, культурно-просветительных учреждений, спортивных сооружений, учреждений здравоохранения и санаториев, промышленных предприятий, складской зоны); специального назначения (магистральные и улицы; водоохранные, ветрозащитные, противозерозионные насаждения; насаждения кладбищ, питомники, а также объекты, расположенные в пригородной зоне и на участках санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий) [1].

На территории г. Воронежа произрастают зеленые насаждения всех

---

\* Работа проведена по заданию комитета по экологии г. Воронежа.

категорий. Объектом нашего исследования служили насаждения общего пользования – при группе жилых домов в Коминтерновском районе, ограниченные пр. Московским, ул. Варейкиса и пр. Труда, парк «Дельфин» на левом побережье Воронежского водохранилища в Железнодорожном районе, парк «Авиастроителей» в Левобережном районе и парк «Орленок» в центральном районе города.

На данной территории осуществляли визуальную оценку состояния деревьев по сумме основных биоморфологических признаков, таких как густота кроны, ее облиственность или охвоенность, соответствие размеров, цвета листьев и хвои, прироста побегов нормальным для данных видов и возраста деревьев, отклонения в строении ствола, кроны, ветвей и побегов, суховершинность или доля сухих ветвей в кроне, целостность и состояние коры и луба. Дополнительными признаками считали пораженность деревьев болезнями инфекционного и неинфекционного характера, поврежденность вредителями и другими негативными природными и антропогенными факторами среды.

Состояние деревьев оценивали двумя способами, взаимно дополняющими друг друга. В городских насаждениях принято разделять деревья на три группы качественного состояния: 1 – хорошее, 2 – удовлетворительное, 3 – неудовлетворительное [2]. На основании действующих «Санитарных правил в лесах России» выделяют шесть категорий состояния (жизнеспособности) деревьев: 1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – сухостой текущего года (усохшие в текущем году), 6 – сухостой прошлых лет. Такая дифференцированная и подробная характеристика дерева позволяет более обоснованно подойти к определению его будущей судьбы – назначению в вырубку или к пересадке и необходимости защитных мероприятий.

Вырубке подлежат деревья: неудовлетворительного состояния, утратившие жизнеспособность, декоративность и другие полезные свойства и относящиеся к категориям 4–6; представляющие опасность как аварийные; пораженные опасными болезнями и вредителями.

Все категории определяются по визуальным признакам. Состояние хвойных видов древесных растений (кроме лиственницы) можно оценивать круглогодично; тополя, ивы, березы, клена – с середины мая – начала июня.

При группе жилых домов было исследовано 500 деревьев тополя гибридного пирамидального, тополя бальзамического, вяза приземистого, рябины обыкновенной, березы повислой, клена остролистного, ивы белой, акации белой, ели колючей. В неудовлетворительном состоянии находятся 22 дерева: 10 – тополя бальзамического, 7 – тополя пирамидального, 2 – рябины обыкновенной, 2 – березы повислой, 1 – вяз приземистый. По категории жизнеспособности это деревья усыхающие и, следовательно, подлежат вырубке. Удовлетворительное состояние имеют 24 дерева: 12 – тополя бальзамического, 4 – тополя пирамидального, 4 – вяза приземистого, 4 – березы повислой. По категории жизнеспособности они относятся к ослабленным. Из 12 тополей бальзамических в кронах пяти деревьев усохло более четверти ветвей, следовательно, эти деревья также подлежат вырубке. Таким образом, при

группе жилых домов необходимо вырубить 27 деревьев: 15 – тополя бальзамического, 7 – тополя пирамидального, 2 – рябины обыкновенной, 2 – березы повислой, 1 – вяз приземистый. Остальные исследованные 454 дерева находятся в хорошем состоянии.

В парке «Дельфин» в настоящее время 370 деревьев имеют хорошее состояние, у 566 обнаружено усыхание крон местами, у 20 тополей – до 2/3 крон, 213 деревьев – сухостой сосны обыкновенной, подлежащий вырубке.

В парке «Авиастроителей» обследовано 500 деревьев, из них в удовлетворительном состоянии находятся 24 дерева тополя черного, 13 – тополя пирамидального, 40 – вяза мелколистного, 6 – березы повислой, 5 – ели обыкновенной; в неудовлетворительном – 5 деревьев вяза мелколистного, 4 – ели обыкновенной, 1 – тополь пирамидальный. Остальные 402 дерева находятся в хорошем состоянии. Таким образом, вырубке подлежат 10 деревьев, находящихся в неудовлетворительном состоянии, и 6 деревьев вяза, в кронах которых имеется более четверти сухих ветвей.

В парке «Орленок» насаждения находятся в хорошем состоянии. Из 215 деревьев вырубке подлежат 6 деревьев тополя бальзамического.

Для деревьев хорошего (1-я категория) или удовлетворительного (2-я и 3-я категории) состояния при условии их сохранения на месте целесообразно применять интенсивные защитные мероприятия [2].

Вырубка деревьев относится к санитарно-оздоровительным мероприятиям, ее выполнение зависит от состояния деревьев, поврежденности, отклонения в развитии, положении и строении ствола и кроны, опасности для окружающих насаждений, населения, строений и сооружений и возможности осуществления экологических и эстетических функций.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. На территории объектов исследования 85 % деревьев находится в хорошем и удовлетворительном состоянии; для них необходимо провести защитные мероприятия. Это санитарная обрезка кроны, при которой удаляют сухие и пораженные болезнями и заселенные опасными вредителями побеги и ветви, а также специализированные истребительные химические обработки деревьев инсектицидами и фунгицидами, лечение ран и небольших дупел, механическое укрепление стволов и ветвей, формовочная обрезка кроны и др.

2. Вырубке подлежат 256 деревьев, или 15 % всех исследованных, в том числе 213 деревьев сосны обыкновенной в парке «Дельфин».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боговая, И.О. Озеленение населенных мест [Текст]: учеб. пособие / И.О. Боговая, В.С. Теодоронский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
2. Кругляк, В.В. Урбоэкология и мониторинг среды [Текст]: учеб. пособие / В.В. Кругляк, Н.П. Карташова. – Воронеж: ВГЛТА, 2004. – 71 с.
3. Методические рекомендации по оценке жизнеспособности деревьев и правилам их отбора и назначения к вырубке и пересадке [Текст] / Е.Г. Мозолевская [и др.]. – М.: МГУЛ, 2003. – 40 с.

Поступила 10.06.08

*V.V. Kruglyak, N.P. Kartashova*  
Voronezh State Forest Engineering Academy

**Plantation State in Voronezh Urban Environment**

The state of plantations in the urban environment is studied. The viability of each tree under investigation is assessed and the viability category is determined allowing to determine its further cutting or replantation, protective measures.

Keywords: urban plantations, state assessment, cutting, replantation, protective measures.

---

УДК 630\*284.2:630\*385.1

*А.С. Новоселов<sup>1</sup>, А.Л. Федяев<sup>2</sup>, В.В. Петрик<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Архангельский государственный технический университет

<sup>2</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Новоселов Анатолий Сергеевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесных культур и ландшафтного строительства АГТУ. Имеет 7 печатных работ в области изучения роста сосняков и их смолопродуктивности на осушенном болоте.  
Тел.: (8182) 21-61-56



Федяев Александр Леонидович родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет около 30 научных публикаций в области рационального природопользования, гидролесомелиорации, устойчивости растительных сообществ в условиях антропогенного воздействия, разработки способов биологической рекультивации техногенно-нарушенных территорий.

E-mail: alkaxest@atnet.ru



Петрик Виталий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесных культур и ландшафтного строительства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области прижизненного использования леса.

Тел.: (8182) 21-61-56



## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЯКОВ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Определены параметры смолопродуктивности сосняков на осушенном болоте; предложены рекомендации по проведению подсадки в Вологодской области.

*Ключевые слова:* сосновая живица, смолопродуктивность, карра, гидролесомелиорация, повреждения деревьев.

Вологодская область – один из многолесных районов европейской части России, где леса занимают более 76 % всей территории. Ее гидролесомелиоративный фонд представлен избыточно увлажненными землями, малопродуктивными вследствие неблагоприятного водного режима и нуждающимися в осушении. Общая площадь болот и заболоченных земель области составляет 3 113,8 тыс. га или 36,2 % от площади земель лесного фонда. По данным натурных обследований открытой мелиоративной сетью в 1970–2005 гг. было осушено 255 179 га.

Гидролесомелиорация улучшает лесорастительные условия сосновых древостоев, повышает их производительность и смолопродуктивность, способствует улучшению комплексной продуктивности лесов, расширяет и улучшает лесосырьевую базу в сосняках для добывания живицы [10].

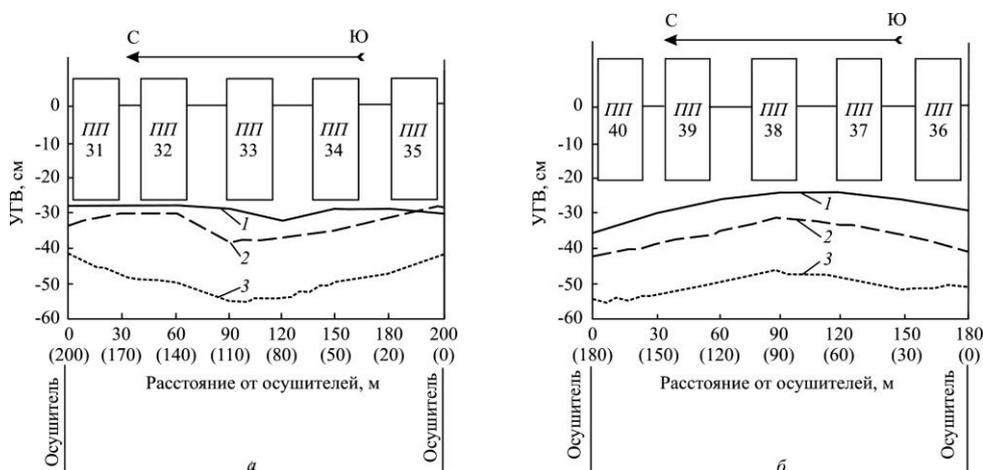


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования с отображением кривых динамики уровня грунтовых вод (УГВ): 1 – август, 2 – июнь, 3 – июль

В качестве показателя смолопродуктивности используют выход живицы с карродециметрподновки (КДП). Смолопродуктивность насаждения – это один из наиболее существенных показателей, определяющих его пригодность для производственной подсочки. Зависит он от целого ряда факторов, прежде всего, от биологических, географических, метеорологических, лесоводственно-таксационных, технологических и технических [10].

Цель нашего исследования – изучить влияние на выход живицы таких факторов, как расположение карр относительно сторон света, механические и биологические повреждения стволов деревьев, диаметр древостоя, зольность торфяной залежи и расположение пробных площадей (ПП) относительно каналов мелиоративной сети.

Объекты исследований были подобраны в Устюженском лесничестве (Лентьевский гидролесомелиоративный стационар), лесосушительные работы в котором были проведены в 1972 г. путем обустройства сети открытых мелиоративных каналов (рис. 1). Сеть выполнена через 180...220 м, глубиной 1,5 м.

ПП подобраны и заложены с учетом требований ГОСТ 16128–70 и методических указаний и рекомендаций Н.П. Анучина [1], В.Г. Рубцова и А.А. Книзе [6, 7]. Типы леса, как основные классификационные единицы, установлены по методике Н.В. Сукачева. Размеры ПП определены исходя из необходимого для опыта количества экземпляров сосны таким образом, чтобы обеспечить достоверность выводов с вероятностью 0,90...0,95 и точность 5 %. Расположение ПП относительно осушительной сети показано на рис. 1. Короткая сторона пробной площади равна 20...30 м, а длинная, параллельная осушителю, в зависимости от конфигурации выдела – 50...100 м.

В подсочку было вовлечено не менее 70...100 деревьев главной породы; общее количество деревьев по сплошному перепису на ПП должно быть 150...200 шт. Для каждой ПП были определены основные таксационные показатели. Измерена высота каждого 10-го дерева (20...25 шт.).

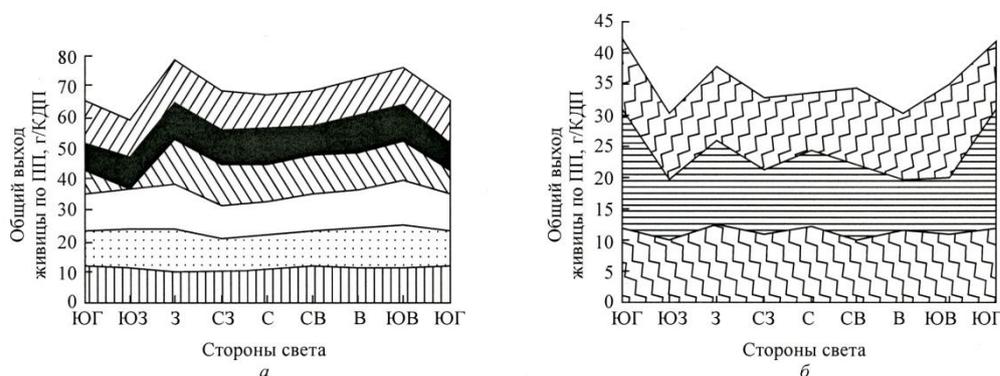


Рис. 2. Среднесезонный выход живицы на приканальном (а) и межканальном (б) пространствах: ■ – ПП 32, ▨ – 33, □ – 34, ▩ – 35, ▤ – 36, ▥ – 37, ■ – 38, ▧ – 39, ▦ – 40

Смолопродуктивность деревьев и древостоев определяли по выходу живицы на КДП [3] (ширина карры 10 см). Подсочку осуществляли восходящим способом односторонней каррой с шагом, глубиной и углом подновки соответственно 1,2 см, 3...4 мм и 45°. Пауза вздымки 3 дня. Живицу взвешивали подеревно на весах ВЛКТ-500. Водный режим изучали, создавая гидрологические створы (смотровые колодцы). Периодичность наблюдений в течение вегетационного периода – через 3 дня. Образцы почвы (торфяные горизонты) отбирали с помощью бура на глубине 10, 20, 30 см в трехкратной повторности. Для определения зольности бюксы с навесками образцов торфа прокаливали при температуре 100...103 °С.

Сравнение таксационных показателей древостоев ПП межканально-го и приканального пространств показывает, что последнее обладает улучшенными лесорастительными свойствами (водный режим, потенциальное богатство почвы, световой и температурный режимы под пологом леса). Заметны четкие отличия средних значений полноты, диаметра и зольности. И, как следствие, запас на приканальных ПП больше, чем на межканальных.

При изучении смолопродуктивности учитывали расположение карр относительно сторон света и среднемесячный подеревный выход живицы на карродециметрподновку с июня по август. Анализ полученных результатов, представленных на рис. 2, позволяет сделать вывод, что выход живицы в приканальных ПП, вблизи поросших молодняком кавальеров и каналов, немного повышается с южной стороны КДП. На это влияет и расположение мелиоративной сети относительно сторон света (см. рис. 1).

С южной стороны в дневное время суток почва и стволы деревьев прогреваются лучше (принимая во внимание близость кавальера), что способствует увеличению выхода живицы. На ПП в межканальном пространстве, при относительно равномерных климатических и эдафических условиях, было отмечено повышение выхода живицы на КДП, находящихся на западной стороне стволов (рис. 3). Однако выявить статистическую достоверность различия средних значений выхода живицы по сторонам света не удалось, что подтверждает результаты многочисленных исследований по закладке карр.

Таблица 1

## Динамика смолопродуктивности по месяцам летней межени

Номер пробной площади (ПП)	Выход живицы, г/КДП			Результаты дисперсионного анализа		
	Июнь	Июль	Август	Межсезонный выход живицы, г/КДП	Критерий Фишера F	Показатель P(F<=f)
Межканальное пространство						
32	10,61	13,26	9,51	11,13	0,6415	0,0006
33	9,78	11,79	10,51	10,70	1,2757	0,1100
34	11,10	14,28	11,34	12,24	0,5840	0,0006
37	11,50	13,20	13,90	12,87	0,7543	0,0500
38	10,50	11,30	11,10	10,97	1,0474	0,0532
39	11,40	12,70	12,20	12,10	0,9037	0,3200
Среднее	10,82	12,76	11,43	11,67	–	–
Приканальное пространство						
31	9,81	12,09	10,31	10,74	0,4913	0,0001
35	10,54	12,76	9,60	10,97	0,8745	0,1900
36	11,20	12,30	12,10	11,87	0,5236	0,0006
40	10,80	11,90	12,40	11,70	0,4861	0,0020
Среднее	10,59	12,26	11,10	11,32	–	–
<i>Итоговое среднее</i>	10,70	12,51	11,27	11,49		

Необходимо отметить, что на объектах исследования (см. рис 1) была достигнута норма осушения (НО) – наименьшая величина понижения УГВ от поверхности земли, при которой наблюдается максимальная продуктивность в данном типе леса. Зная, что средневегетационная НО по придержкам [5] должна составлять 30...60 см, и опираясь на данные табл. 1, можно сделать вывод, что средние за сезон показатели смолопродуктивности имеют близкие значения и согласуются с полученными нами ранее результатами [8, 9].

Наши данные подтверждают результаты других ученых. Так, итоговое среднее значение выхода живицы близко к 11, 5 г/КДП. Это свидетельствует, что исследуемые осушаемые сосняки по классификации В.И. Суханова имеют высокую смолопродуктивность. Как видно из рис. 3, смоловыделение по месяцам летней межени тоже испытывает изменения: в ПП как на межканальном, так и на приканальном пространстве, смолопродуктивность несколько выше в середине лета. Схожие выводы были получены нами ранее [4]. Приведенные ниже гистограммы иллюстрируют некоторое увеличение выхода живицы в августе по сравнению с июнем. Это обусловлено многими факторами. Нами установлено, что повышение температуры воздуха более 20 °С может привести к снижению активности смоловыделения [2].

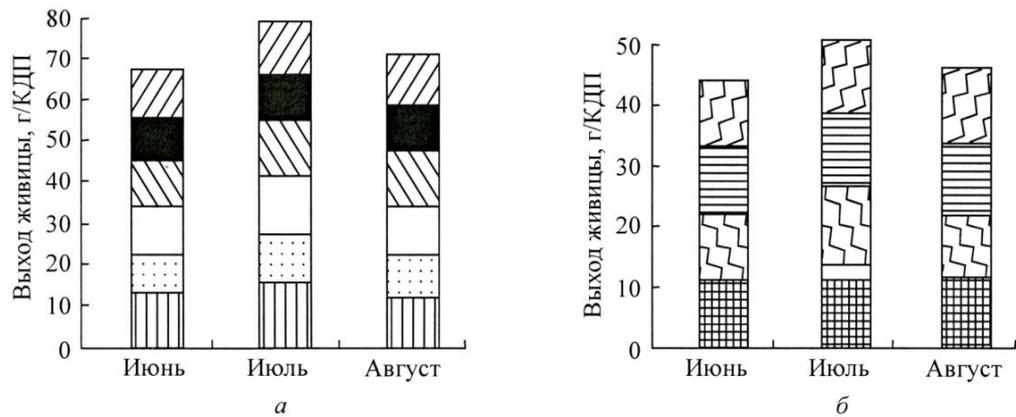


Рис. 3. Межсезонный выход живицы на приканальном (а) и межканальном (б) пространствах (■ – ПП 31, остальные обозначения см. на рис. 2)

Проанализируем зависимость между диаметром ствола и выходом живицы с помощью двухвыборочного F-теста для дисперсии. Используем для анализа показатель  $P(F \leq f)$ , отражающий тесную связь при значимом критерии Фишера, т.е. при  $F < 0,05$ .

В межканальном пространстве лишь на двух ПП из шести была зафиксирована тесная связь между выходом живицы и диаметром ствола деревьев, тогда как в приканальном пространстве тесную связь показали три ПП из четырех. Это свидетельствует о том, что в приканальном пространстве условия местопроизрастания древостоев более благоприятны. В связи с тем, что во время подсочки многие деревья претерпевают повреждения, необходимо проанализировать влияние повреждений на смолопродуктивность.

Повреждения по-разному оказывали ослабляющее воздействие на процесс выделения живицы, поэтому точность опыта по всем видам повреждений на всех ПП (табл. 2) оказалась завышенной и сильно варьировала.

В среднем повреждения на всех ПП составили 21% от общего числа подсачиваемых деревьев. Полученные результаты не подтвердили сильного влияния повреждений на смолопродуктивность древостоев. Однако удалось выявить динамику смолопродуктивности по видам повреждений (рис. 4).

Так, на межканальном пространстве наибольшее снижение смолопродуктивности вызвано повреждением коры лосем, тогда как влияние корневой губки незначительно. На приканальной лесной полосе некоторое снижение смолопродуктивности вызвано механическими повреждениями кроны и наружной части ствола дерева, полученными при падении соседних деревьев (ошмыг). Наличие корневой губки и рака серянки не отразилось на процессе смолыделения.

Таблица 2

**Результаты статистического анализа влияния повреждений стволов деревьев  
на выход живицы**

Номер пробной площади (ПП)	Вид повреждения	Статистический показатель					Процент повреждений от общего числа деревьев на ПП
		$M \pm m$ , г/КДП	$C$	$\delta$	$p$	$t$	
<b>Межканальное пространство</b>							
32	ОК	11,00±0,87	40,43	4,447	7,928	12,60	13,62
	РС	14,63±2,47	29,20	4,272	16,860	5,93	
33	ОК	9,69±0,80	33,19	3,218	8,298	12,10	24,24
	ОШ	11,00±3,30	42,43	4,667	30,000	3,33	
	РС	12,20±1,16	23,82	2,906	9,724	10,30	
34	ОК	13,31±1,65	52,58	6,999	12,390	8,07	15,64
	ОШ	20,48±1,85	20,23	4,143	9,048	11,10	
37	ОК	12,52±2,80	63,37	7,930	22,400	4,46	27,08
	РС	9,07±2,46	60,61	5,496	27,110	3,69	
38	КГ	13,02±4,25	56,54	7,362	32,640	3,06	16,07
	ОК	8,30±0,51	10,65	0,884	6,151	16,30	
	ОШ	9,21±2,87	54,02	4,975	31,190	3,21	
39	ОК	13,10±1,24	36,71	4,809	9,479	10,60	24,69
	ОШ	10,39±1,06	22,88	2,378	10,230	9,77	
Среднее по видам повреждения	КГ	13,02					20,2
	ОК	11,32	–	–	–	–	
	РС	11,96	–	–	–	–	
	ОШ	12,77	–	–	–	–	
<b>Приканальное пространство</b>							
35	КГ	6,55±0,35	7,56	0,495	5,344	18,70	21,47
	ОК	11,83±0,77	35,81	4,238	6,538	15,30	
	РС	12,60±3,57	49,05	6,180	28,320	3,53	
36	КГ	10,90±1,33	32,24	3,514	12,190	8,21	20,39
	ОК	10,20±0,96	24,96	2,546	9,435	10,60	
	ОШ	9,89±0,89	23,72	2,345	8,965	11,20	
40	ОК	10,24±1,06	25,46	2,607	10,400	9,62	22,4
	ОШ	9,33±0,81	19,36	1,807	8,658	11,60	
	РС	7,73±2,86	73,96	5,713	36,960	2,74	
Среднее по видам повреждения	КГ	10,15					21,42
	ОК	10,75	–	–	–	–	
	РС	10,16	–	–	–	–	
	ОШ	9,61	–	–	–	–	
<i>Итоговое среднее</i>	КГ	11,58					20,81
	ОК	11,03	–	–	–	–	
	РС	11,06	–	–	–	–	
	ОШ	11,19	–	–	–	–	

Примечания. 1. Здесь и далее, на рис. 4, ОК – повреждения коры лосем; ОШ – ошмыг; РС – рак серянка; КГ – корневая губка. 2.  $M$  – среднее значение выхода живицы;  $m$  – ошибка среднего;  $C$  – коэффициент изменчивости;  $\delta$  – среднее квадратичное отклонение;  $p$  – точность опыта, %;  $t$  – достоверность среднего значения.

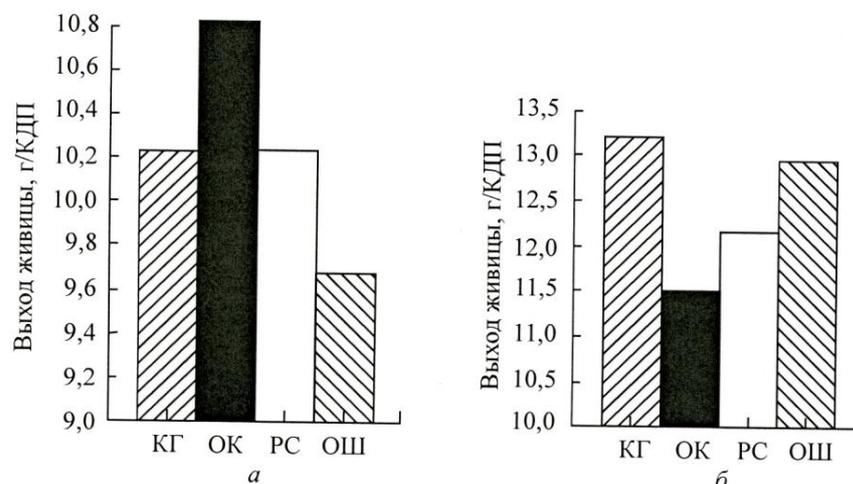


Рис. 4. Динамика смолопродуктивности по видам повреждений ствола на приканальном (а) и межканальном (б) пространствах ГЛМС (см. обозначения в табл. 2)

#### Выводы

1. Показано, что при достижении нормы осушения в течение вегетационного периода исследованные мелиорируемые сосняки в конце второго десятилетия после осушения имеют высокую смолопродуктивность; более интенсивный выход живицы отмечен в середине вегетационного периода.

2. Рекомендовано во время подсочки удалять из межканального пространства деревья, поврежденные лосем, а из приканального – имеющие ошмыг.

3. Выявлена зависимость смолопродуктивности от диаметра деревьев на приканальной полосе. Рекомендовано в данном регионе при производственной подсочке на приканальных полосах располагать карры на южной стороне, а на межканальных – на западной (и интерполировать направление заложения карр относительно расположения каналов осушительной сети).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин, Н.П. Лесная таксация [Текст]: учеб. для вузов / Н.П. Анучин. – 6-е изд. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 552 с.
2. Методы повышения смолопродуктивности сосняков [Текст] / В.В. Петрик [и др.]. – Архангельск: Изд-ство АГТУ, 2006. – 200 с.
3. ОСТ 13-80–79. Подсочка сосны. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 22 с.
4. Петрик, В.В. Лесоводственные методы повышения смолопродуктивности сосновых древостоев [Текст] / В.В. Петрик. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 236 с.
5. Рекомендации по практической гидролесомелиорации [Текст] / под общей ред. В.К. Константинова. – СПб.: ФГУ «СпбНИИЛХ», 2006. – С. 118.
6. Рубцов, В.Г. Ведение хозяйства в мелиорируемых лесах [Текст] / В.Г. Рубцов, А.А. Кнize. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 120 с.

7. Рубцов, В.Г. Закладка и обработка пробных площадей на осушенных насаждениях [Текст]: метод. указания / В.Г. Рубцов – Л.: ЛенНИИЛХ, 1974. – 57 с.

8. Федяев, А.Л. Влияние осушения на смолопродуктивность сосновых древостоев Вологодской области и эффективность их промышленной подсочки [Текст]: дис. ...канд. с.-х. наук. / А.Л. Федяев. – Екатеринбург, 1995. – 167 с.

9. Федяев, А.Л. Эффективность подсочки осушенных сосняков Вологодской области [Текст] / А.Л. Федяев, В.И. Суханов, В.В. Петрик // Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. – Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии, 1992. – С. 191–199.

10. Фролов, Ю.А. Факторы смолопродуктивности сосны обыкновенной [Текст] / Ю.А. Фролов, Н.А. Пирогов, Ю.И. Осипов // Лесопользование и гидролесомелиорация: материалы Всерос. симпозиума. – СПб.; Вологда: СевНИИЛХ, 2007. – Ч. 1. – С. 125 – 140.

Поступила 13.04.09

*A.S. Novoselov<sup>1</sup>, A.L. Fedyaev<sup>2</sup>, V.V. Petrik<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Arkhangelsk State Technical University

<sup>2</sup>Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of RAS

### **Some Aspects of Resin Productivity of Pine Forests at Forest Improvement Objects in Vologda Region**

The parameters of resin productivity of pine forests on the drained bog are determined, the recommendations for tapping in the Vologda region are offered.

Keywords: pine pitch, resin productivity, forest improvement, tree damage.

---

УДК 630\*266:674.031.32.003.13

*А.П. Царев<sup>1</sup>, В.А. Царев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Петрозаводский государственный университет

<sup>2</sup>Воронежская государственная лесотехническая академия

Царев Анатолий Петрович родился в 1939 г., окончил в 1962 г. Воронежский лесотехнический институт, в 1984 г. – Воронежский государственный университет, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Петрозаводского государственного университета, главный научный сотрудник Института леса КарНЦ РАН, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 научных работ в области селекции, сортоиспытания, разведения, биоразнообразия и экологических особенностей лесных древесных пород.  
E-mail: [tsarev@psu.karelia.ru](mailto:tsarev@psu.karelia.ru)



Царев Вадим Анатольевич родился в 1961 г., окончил в 1987 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры управления производством Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 научных работ в области лесной селекции, защитного лесоразведения, анализа состояния и использования лесных ресурсов, экономической оценки хозяйственного использования быстрорастущих древесных пород.



### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ПОЛОС ИЗ ТОПОЛЕЙ**

На примере Центрального Черноземья европейской части России показано, что полезащитные лесные полосы, созданные из обычных тополей секции настоящих (осокорь и бальзамический), могут окупить затраты на их создание и потери урожая на занятых ими площадях примерно к 18–19-летнему возрасту; экономическая эффективность полезащитных лесных полос может быть повышена за счет введения в их состав сортовых тополей.

*Ключевые слова:* полезащитное лесоразведение, фактор времени, банковский процент, инфляция, экономическая эффективность, сортовые тополя.

Для России расчетная потребность в защитных лесных насаждениях по разным данным составляет 6...14 млн га. Из имеющихся в наличии немногим более 3 млн га защитных насаждений примерно 1,2 млн га составляют лесные полосы. Считается, что их площадь должна быть в 2 раза больше [3, 7].

Экономическая, экологическая и социальная эффективность полезащитных лесных полос оценена отечественными учеными [5, 6, 12, 18 и др.]. Показано их положительное воздействие на состояние и продуктивность защищаемых пахотных угодий. Так, урожайность зерновых в отдельные годы повышалась на 1,5...14,0 ц/га [4, 8, 18, 19].

По данным И.В. Трещевского и В.Г. Шаталова [17], экономическая эффективность полезащитных полос разных типов, состава и возраста в рублях на 1 р. затрат колебалась в Центральном Черноземье от 10 р. в 6–7-летних полосах из дуба и ясеня до 30...50 р. в 20-летних насаждениях из тополя и березы. Высокие показатели эффективности были получены и по другим категориям защитных насаждений (приовражное лесоразведение, рекультивация, защитное лесоразведение на пастбищах, водоохранные полосы, насаждения вдоль транспортных магистралей и др.). Однако и при

столь привлекательных экономических показателях этот вид деятельности все еще недостаточно развит.

Это обусловлено рядом факторов. Прежде всего, стоимостные экономические показатели советской экономики 1970–80 гг. сегодня не применимы ни по уровню цен, кредитов и др. нормативов, ни по методике расчетов эффективности. Сомнения есть и по некоторым натуральным показателям (например, средняя эффективная высота 1,2...3,1 м), которые в свое время были представлены в литературе [6, 18 и др.]. Эти данные требуют уточнения применительно к современным условиям. Предпринимателям необходимы реальные величины ожидаемых эффектов, особенно когда речь идет о долговременных вложениях.

В настоящей работе на примере Центрального Черноземья европейской части России сделана попытка рассчитать в первом приближении экономическую эффективность 20-летних полезащитных полос тополей с учетом современных реалий. В своих расчетах авторы стремились установить как можно более реальные величины срока окупаемости затрат и потерь, образующихся при создании лесных полос. Совершенно необходимо учитывать фактор времени.

#### *Методика исследований и исходные данные*

Методика расчетов включала основные рекомендованные показатели [7, 11, 18 и др.]. Она учитывала высоту и дальность действия лесных полос; ежегодные потери сельхозпродукции на площади, занятой лесополосами; себестоимость выращивания лесных полос; средний ежегодный чистый доход от дополнительного урожая за период эффективной работы полосы; суммарный чистый доход за 20 лет; доход на единицу затрат и др. показатели. При этом ряд подходов, используемых в некоторых работах, были нами скорректированы и модифицированы. В частности, модифицированы некоторые формулы из работы И.В. Трещевского и др. [18], в них введены коэффициенты инфляции и приведения затрат [1, 24 и др.].

Так, суммарные потери и затраты на 100 га пашни ( $L_{100}$ ) в каждый конкретный год рассчитывали по следующей модифицированной нами формуле:

$$L_{100} = \{M[Z(1+I)^t - C_0(1+I)^t] + C_{2r} + C_{2r} I^t + (C_{2r} + C_{2r} I^t)i + C_{2n} i(1+i)^t\} S_{\text{for}}, \quad (1)$$

где  $M$  – средний многолетний урожай зерновых с 1 га;

$Z$  – закупочная цена 1 ц зерновых;

$C_0$  – себестоимость производства 1 ц основного урожая;

$I$  – коэффициент инфляции;

$t$  – число лет наращивания банковских процентов или инфляции;

$C_2$  – себестоимость выращивания 1 га лесных полос;

$C_{2r}$  – затраты года, на который ведется расчет;

$C_{2n}$  – затраты предшествующего года (или предшествующих лет);

$i$  – размер банковского ссудного процента;

$S_{\text{for}}$  – площадь лесных полос, приходящаяся на 100 га пашни.

За последние 30 лет средний многолетний урожай зерновых культур, рассчитанный по данным [14], составил 15,5 ц/га, озимой пшеницы – 23,9 ц/га, яровой – 12,4 ц/га. Средние многолетние показатели урожайности этих же культур в Центральном Черноземье близки к среднероссийским, что и принято нами за основу.

В 2006 г. закупочная цена 1 т качественной пшеницы третьего класса составляла 3200 р., а в 2007 г. – 5800 р. [16, 25]. Предполагается, что закупочные цены на пшеницу подтянутся до мировых – 250...260 дол. США/т [15] или около 6500 р./т. Для расчетов нами была принята закупочная цена  $Z = 6000$  р./т (или 600 р./ц).

Стоимость производства 1 ц зерна в 2004 г. по Воронежской области (основной зернопроизводящей области Центрального Черноземья) составляла 192 р. [2]. С учетом официального (в 2005 г. – 11 %, в 2006 г. – 9 %) и предполагаемого в 2007 г. (9 %) уровня инфляции официальная стоимость производства 1 ц зерна в 2007 г. составляла около 253 р./ц. Реальная инфляция, конечно, выше, по некоторым данным она достигает 20 % [16]. Учитывая вышеизложенное, а также необходимость повышения зарплаты, принимаем  $C_0 = 300$  р./ц.

При расчете себестоимости выращивания 1 га лесных полос пользовались нормативами и расценками, которые применялись в Учебно-опытном лесхозе Воронежской государственной лесотехнической академии весной в 2007 г. при создании лесных культур (на наш взгляд, расценки занижены и нуждаются в пересмотре).

Стоимость вспашки 1 га – 37,41 р.

Норма посадки 2-летних саженцев тополя – 760 растений на 1 га. При размещении  $3 \times 3$  м число посадочных мест составило 1111 шт./га, стоимость посадки 1 га –  $1111 : 760 \cdot 113,5$  р. = 165,92 р.

Стоимость оплаты труда за механизированный уход в междурядьях в течение первых 5 лет ( $5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 15$  уходов) в 2 следа в лесхозе рассчитана следующим образом:

$$30,0 \text{ га} : 2,8 \text{ га (норма)} \cdot 108 \text{ р.} = 1\,157,14 \text{ р.};$$

дополнительный ручной уход вокруг растений:

$$1111 \text{ м}^2 \cdot 15 \text{ уходов} : 523 \text{ м}^2 \text{ (норма)} \cdot 81,44 \text{ р.} = 2595,02 \text{ р.}$$

Таким образом, фонд оплаты труда составил 3955,49 р., начисления на фонд оплаты (28 %) – 1107,53 р.

Стоимость горюче-смазочных материалов (ГСМ): дизельное топливо –  $12,5 \text{ л/га} \cdot 14,5 \text{ р.} \cdot 30 \text{ га} = 5437,50$  р.; другие жидкости (масла, охладитель и др.) – около 10 % от стоимости дизельного топлива или 544 р.

Стоимость 2-летних укорененных саженцев тополя –  $36 \text{ р.} \cdot 1111 = 39996$  р.

Оплата труда с начислениями – 5063,03 р.

Стоимость материалов – 45977,5 р.

В итоге имеем 51040,53 р.

Добавив к этой сумме затраты на содержание предприятия (около 20 %), получим примерную себестоимость создания 1 га лесной по-

лосы  $C_2 = 61250$  р. Естественно, что с течением времени себестоимость будет изменяться. Затраты в разные годы будут разными. В связи с тем, что в расчетах лесхоза не учтены инфляция и дисконтирование, в нашей работе их данные были использованы лишь как источник информации. Фактически наши расчеты были проведены отдельно для каждого года существования лесных полос.

С учетом официального уровня инфляции в России (9 %) и обещания российского правительства снизить его в ближайшем будущем в наших расчетах в первые 5 лет принята инфляция 9 %, в последующие годы – 5 %.

Для приведения затрат к конкретному году рассчитывали потери по ставке сложного ссудного банковского процента. Минимальная процентная ставка (она не может быть ниже инфляции) в первые 5 лет также была принята 9 %, а в последующие годы – 5 %.

Площадь лесных полос, приходящаяся на 100 га пашни, была рассчитана на основании рекомендаций по оптимальной ширине продуваемых полос [11, 18 и др.], принятой 15 м. В этом случае на 100 га пашни необходимо 4 га лесных полос.

Потери на площадях, занятых дорогами, в расчет не включали.

Доход от дополнительного урожая на 100 га пашни устанавливали по модифицированной нами формуле:

$$P_{100} = \{mS_{ef} [Z(1 + I)^t - C_{ad}(1 + I)^t] - L_1\} S_{for}, \quad (2)$$

где  $m$  – прибавка урожая под влиянием полос;

$S_{ef}$  – площадь сельхозугодий, находящаяся под защитой 1 га полос;

$C_{ad}$  – себестоимость 1 ц дополнительного урожая;

$L_1$  – потери сельскохозяйственной продукции на площади, занятой 1 га лесных полос.

По многолетним исследованиям ВНИАЛМИ, прибавка урожая зерновых под влиянием лесополос за 1955–1980 гг. для лесостепи в среднем составила 3,1 ц/га или 24 % [4]. Это примерно в 2 раза выше, чем официально утвержденные Министерством сельского хозяйства СССР размеры прибавок\* урожая на полях, защищенных полезащитными лесополосами. Для экономических расчетов этот документ рекомендовал принимать в среднем следующие прибавки, ц/га (%): пшеница озимая – 2,3 (11); пшеница яровая – 1,4 (11); рожь озимая – 1,8 (13); ячмень яровой – 1,84 (11); кукуруза на зерно – 3,5; подсолнечник – 1,7 (11); кукуруза на силос – 18,0 (20); многолетние травы на сено – 2,6 (15) [17].

Для наших расчетов, в целях получения минимально возможных и максимально объективных результатов, были выбраны наименее урожайная культура (яровая пшеница со среднемноголетним урожаем 12,4 ц/га) и минимальная прибавка на полях, защищенных лесными полосами (1,4 ц/га).

---

\* Временные нормативы прибавок урожая важнейших сельскохозяйственных культур на полях, защищенных лесными полосами, в сравнении с открытыми полями [Текст]. – М.: Минсельхоз СССР, 1974.

По данным И.В. Трещевского [18], себестоимость производства 1 ц дополнительного урожая составляет около 20 % от себестоимости производства основного урожая. Для нашего случая это будет около 60 р./ц в первый год существования полос с последующей индексацией на уровень инфляции.

Потери сельскохозяйственной продукции на площади, занятой 1 га лесных полос, определяли по каждому году как произведение стоимости продукции (с учетом инфляции) на средний многолетний урожай.

Средняя площадь сельхозугодий, находящаяся под защитой 1 га полос, отдельно для каждого года

$$S_{ef} = a Hl / 10000, \quad (3)$$

где  $a$  – коэффициент, отражающий относительную дальность влияния лесных полос (кратность высот);

$H$  – высота лесных полос в год оценки показателей;

$l$  – протяженность 1 га лесных полос.

Относительная дальность влияния лесных полос зависит от многих параметров, основными из которых являются высота и конструкция полос. Г.Н. Высоцкий еще в 1930 г. отмечал влияние полос на расстоянии, равном 10...20 средним высотам. Другие исследователи первой половины прошлого века (Панфилов, Бяллович, Матякин, и др. [9]) указывали дальность влияния 30...40 высот.

Таблица 1

**Динамика средних высот тополей в Семилукском популетуме (условия местопрорастания – D<sub>2</sub>, почва – типичный чернозем)**

Возраст насаждений, лет	Средняя высота настоящих тополей	Возраст насаждений, лет	Средняя высота настоящих тополей
1	1,0	11	16,3
2	2,0	12	16,5
3	3,2	13	16,7
4	5,8	14	17,4
5	7,1	15	18,5
6	9,3	16	21,0
7	10,6	17	21,7
8	12,5	18	22,7
9	13,9	19	23,7
10	16,0	20	24,1

По данным И.В. Трещевского и др. [18], относительная дальность эффективного влияния лесных полос разной конструкции может колебаться в следующих пределах: для продуваемых – 35...50 высот (в среднем 40), для ажурных – 20...35 (30), для непродуваемых – 15...30 (20), для ажурно-продуваемых – 10...25 (15). Е.А. Михина и В.И. Михин [10] дают придержки эффективного влияния полос: для продуваемых полос – 40, для ажурных – 25, для плотных – 20 высот.

В данной работе для повышения надежности оценки влияния полос продуваемой конструкции относительная дальность их влияния принята равной 25 высотам, ширина полос – 15 м. Такая же кратность влияния и ши-

рина указывается и в рекомендациях РАСХН [11]. Протяженность 1 га полос при ширине 15 м составляет 667 м, размещение растений –  $3 \times 3$  м (1111 шт./га).

Фактические данные по росту тополей (среднее между осокорем и бальзамическим тополем) получены при многолетних испытаниях в Воронежской области на заложенном А.П. Царевым Семилукском популетуме [13, 21, 23] (табл. 1), данные по стоимости сельхозпродукции, затраты на выращивание насаждений и другие необходимые экономические предпосылки взяты из указанных выше источников. Следует отметить, что в работе не учитывались затраты на рубки ухода и стоимость заготавливаемой древесины, а также экологические и социальные эффекты лесных полос, выраженные в денежном эквиваленте.

#### *Обсуждение результатов*

Расчеты затрат и доходов, получаемых при создании полезащитных лесных полос и их воздействии на защищаемые территории, могут быть выполнены в следующем порядке.

Первый год создания полос. Для того, чтобы рассчитать потери и затраты на 100 га пашни ( $L_{100}$ ) в соответствии с формулой (1), необходимо дополнительно к оговоренным в методике показателям определить затраты на создание лесных полос в первый год. Эти затраты включают:

оплату труда с начислениями (вспашка почвы – 37,41 р., посадка – 165,92 р., 5-кратная механизированная культивация в 2 следа – 385,71 р., дополнительная ручная прополка и рыхление в 1-метровых защитных полосах – 865,00 р.) в сумме 1454,04 р.;

начисления на фонд заработной платы (28 %) –  $1454,04 \times 1,28 = 1861,17$  р.;

стоимость укорененных саженцев – 39996,00 р.;

стоимость ГСМ – 1993,50 р.

В сумме это составит 43850,67 р., а с учетом содержания (8870,13 р.) предприятия – 52620,80 р.

Эти и другие данные подставляем в формулу (1). Поскольку в течение первого года инфляционная составляющая не учитывается, а затраты прежних лет отсутствуют, то затраты и потери первого года

$$L_{100-1} = [12,4 (600 \cdot 1,09^0 - 300 \cdot 1,09^0) + 52620,8 + 0 + 52620,8 \cdot 0,09 + 0] \cdot 4 = \\ = [3720 + 52620,8 + 4735,87] \cdot 4 = 61076,67 \cdot 4 = 244306,68 \text{ р.}$$

Для определения дохода от дополнительного урожая на 100 га пашни ( $P_{100-1}$ ) в текущем году по формуле (2) необходимо дополнительно оценить площадь сельхозугодий, находящуюся под защитой 1 га полос, в соответствии с формулой (3), и потери сельскохозяйственной продукции на площади, занятой 1 га лесных полос:

$$S_{ef-1} = 25 \cdot 1 \cdot 667 / 10000 = 1,67 \text{ га};$$

$$L_{1-1} = 600 \cdot 12,4 = 7440,00 \text{ р.}$$

В первом году получен отрицательный результат:

$P_{100-1} = \{1,4 \cdot 1,67 [600 \cdot 1,09^0 - 60 \cdot 1,09^0] - 7440\} 4 = -24709,92$  р.,  
т.е. в первый год общие затраты и потери на 100 га пашни составили  $244306,68 + 24709,92 = 269016,60$  р.

Второй год создания и действия полос. Затраты этого года состоят из двух компонентов. Первая составляющая – текущие затраты на уходы за полосами, которые заключаются в 4-кратной механизированной культивации междурядий в два следа, ручной прополке и рыхлении в рядах на ширину 1 м. Используя тот же порядок расчетов, что и в первый год, получаем затраты на эти работы, включая начисления на фонд зарплаты и административно-хозяйственные расходы, в сумме 3450,88 р. С учетом поправки на инфляцию:  $3450,88 + 3450,88 \cdot 0,09 = 3761,46$  р.

Вторая составляющая – это приращение суммы затрат за счет сложного банковского процента от затрат первого и второго годов. Сумма приращения банковского процента первого года (4735,87 руб.) на второй год составит  $4735,87 \cdot 1,09 = 5162,10$  р. К этой величине добавляется банковский процент на затраты второго года по созданию лесных полос:  $3761,46 \cdot 0,09 = 338,53$  р. Поэтому вторая составляющая второго года:  $5162,10 + 338,53 = 5500,63$  р.

В целом затраты на создание лесных полос в течение второго года:  $3450,88 + 310,58 + 338,53 + 5162,10 = 9262,09$  р.

#### Динамика некоторых экономических показателей (р.) ползащитных лесных полос,

Возраст лесных полос, лет	Защищаемая площадь $S_{ef}$ , га пашни	Цена 1 ц зерна $Z$	Себестоимость производства 1 ц зерна $C_o$	Себестоимость 1 ц дополнительного урожая $C_{ad}$	Затраты на создание полос в текущем году $C_2$	В том	
						номинальные текущего года $C_{2r}$	инфляционные $C_{2r} I^t$
1	1,67	600,00	300,00	60,00	57356,67	52620,80	–
2	3,34	654,00	337,00	65,40	9262,09	3450,88	310,58
3	5,70	712,86	356,43	71,29	9347,91	2588,46	486,89
4	9,60	777,00	388,50	77,70	9272,57	1725,44	509,04
5	11,80	846,95	423,47	84,70	8998,92	862,72	355,08
6	15,50	889,30	444,65	88,93	8170,18	–	–
7	17,70	933,17	466,89	93,38	8578,68	–	–
8	20,80	980,45	490,23	98,05	9007,62	–	–
9	23,20	1029,48	514,74	102,95	9458,00	–	–
10	26,70	1080,95	540,48	108,10	9930,90	–	–
11	27,20	1134,10	567,05	113,41	10427,44	–	–
12	27,50	1191,75	595,88	119,18	10948,82	–	–
13	27,80	1251,33	625,67	125,13	11496,26	–	–
14	29,00	1313,90	656,95	131,39	12071,07	–	–
15	30,80	1379,59	689,80	137,96	12674,63	–	–
16	35,00	1448,58	724,29	144,86	13308,36	–	–

17	36,20	1521,00	760,50	152,10	13973,78	–	–
18	37,90	1597,05	798,53	159,71	14672,47	–	–
19	38,90	1676,91	838,46	167,69	15406,09	–	–
20	40,20	1760,75	880,38	176,08	0	–	–

\*  $(C_{2r} + C_{2r} In^t) i$ .\*\*  $C_{2n} i(1 + i)^t$ .

Цена реализации 1 ц пшеницы на второй год с учетом инфляции составляет  $600 \cdot 1,09^1 = 654,00$  р., соответственно себестоимость производства –  $300 \cdot 1,09^1 = 327,00$  р. Допуская, что среднесрочная урожайность яровой пшеницы за расчетный период не изменяется (если это не так, то необходимо вводить соответствующие поправки), и подставляя полученные выше величины в формулу (1), рассчитаем потери и затраты на 100 га пашни в течение второго года:

$$L_{100-2} = [12,40 (654,00 - 327,00) + 9262,09] 4 = 53267,56 \text{ р.}$$

Площадь сельхозугодий, находящаяся под защитой 1 га полос, в соответствии с формулой (3) в течение второго года

$$S_{ef-2-0} = 25 \cdot 2,0 \cdot 667 / 10000 = 3,34 \text{ га.}$$

Потери сельскохозяйственной продукции на площади, занятой 1 га лесных полос, с учетом повышения цены на пшеницу

$$L_{1-2} = 654,00 \cdot 12,4 = 8109,60 \text{ р.}$$

Таблица 2  
созданных из клонов обычных тополей, в первые 20 лет их роста

числе			Потери продукции на площадях под лесополосами $L_1$	Суммарные потери $L_{100}$	Доход $P_{100}$
банковский процент текущего года*	предыдущие банковские проценты**	итого банковских процентов			
4735,87	0	4735,87	7440,00	244306,68	-24709,92
338,53	5162,10	5500,63	8109,60	53267,56	-21429,22
276,78	5995,69	6272,47	8839,46	55042,56	-14878,93
201,10	6836,99	7038,09	9634,80	56359,88	-944,83
109,60	7671,52	7781,12	10502,18	56999,79	8360,76
–	8170,18	8170,18	11027,29	54735,36	25362,84
–	8578,68	8578,68	11578,64	57472,13	36984,90
–	9007,62	9007,62	12157,57	60345,74	54151,64
–	9458,00	9458,00	12765,45	63363,03	69312,98
–	9930,90	9930,90	13403,72	66531,18	91845,65
–	10427,44	10427,44	14073,91	69857,74	99175,88
–	10948,82	10948,82	14777,60	73350,62	106065,38
–	11496,26	11496,26	15516,48	77018,15	113260,89
–	12071,07	12071,07	16292,31	80869,66	126870,38
–	12674,63	12674,63	17106,92	84912,51	145728,66
–	13308,36	13308,36	17962,27	89158,14	183680,04

	–	13973,78	13973,78	18860,38	93616,04	205128,22
	–	14672,47	14672,47	19803,40	98296,84	225849,56
	–	15406,09	15406,09	20793,57	103211,68	245594,20
Отсюда	–	0	0	21833,24	43666,60	269403,44

доход по итогам второго года

$$P_{100-2-0} = [1,4 \cdot 3,34 (600 \cdot 1,09^1 - 60 \cdot 1,09^1) - 8109,60] 4 = -21429,22 \text{ р.}$$

Как видно из расчетов, и во второй год получен отрицательный результат.

С 3-го по 5-й год. В этот период расчеты выполняли по методике, аналогичной той, которую использовали во второй год создания и действия лесных полос. Прямые затраты на создание снижались в связи с уменьшением числа уходов (третий год – 3, четвертый – 2, пятый – 1), однако сумма ссудного процента росла, поскольку к имеющейся задолженности прибавлялся процент на текущие нужды.

С 6-го по 20-й год. Как уже отмечалось выше, в этот период процент инфляции был уменьшен до 5, ссудный банковский процент – до 5.

Изменение экономических показателей представлено в табл. 2, данные о накоплении суммарных расходов и потерь для обычных и сортовых тополей, составленные на основе табл. 2, приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Динамика накопления суммарных затрат и доходов (тыс. р.)  
при создании лесных полос из тополей**

Возраст лесных полос, лет	Суммарные потери	Накопленная сумма потерь	Доход	Накопленная сумма дохода
1	244,3	244,3	-24,7	-24,7
2	53,3	297,6	-21,4	-46,1
3	55,0	352,6	-14,9	-61,0
4	56,4	409,0	-0,9	-61,9
5	57,0	466,0	8,4	-53,5
6	54,7	520,7	25,4	-28,1
7	57,5	578,2	37,0	8,9
8	60,3	638,5	54,2	63,1
9	63,4	701,9	69,3	132,4
10	66,5	768,4	91,8	224,2
11	69,9	838,3	99,2	323,4
12	73,4	911,7	106,1	429,5
13	77,0	988,7	113,3	542,8
14	80,9	1069,6	126,9	669,7
15	84,9	1154,5	145,7	815,4
16	89,2	1243,7	183,7	999,1
17	93,6	1337,3	205,1	1204,2
18	98,3	1435,6	225,8	1430,0
19	103,2	1538,8	245,6	1675,6
20	43,7	1586,1	269,4	1945,0

Из данных табл. 2 и 3 видно, что уравнивание расходов и доходов для полезащитных полос из настоящих тополей (осокорь и бальзамические) наступает примерно в 18...19 лет. Этот срок можно рассматривать как период окупаемости.

В целом за 20 лет доход, получаемый при создании и воздействии полезащитных лесных полос из тополей, превышал затраты на 358,9 тыс. р., эффективность за этот период составила 1,23 р. на 1 р. затрат.

Экономические показатели полезащитных лесных полос можно повысить, введя в их состав сортовые тополя. С учетом этого основные усилия селекционеров были направлены на создание и отбор быстрорастущих сортов тополей с более высокими показателями эффективных высот, позволяющих защищать большие площади. Такие сорта были отобраны и включены в перспективные ассортименты.

Предварительно в число более эффективных для условий лесостепи, степи и полупустыни были рекомендованы следующие отечественные гибриды: Пионер, Русский, Пирамидально-осокоревый, Камышинский, Воронежский Гигант, Степная Лада, Болид, Ведуга и др. Кроме того, в рекомендуемый ассортимент вошли испытанные культивары некоторых интродуцированных евроамериканских тополей: Робуста, Бахельери, Вернирубенс, Брабантика-175, Сакрау-59 и др. [20, 22, 23 и др].

Расчет конкретных величин прибавок будет произведен в дальнейшем.

#### *Выводы*

Полезащитные лесные полосы, созданные из обычных тополей из секции настоящих (осокорь и бальзамические), окупают затраты на их создание и потери урожая на занятых ими площадях примерно к 18–19-летнему возрасту.

Экономическая эффективность полезащитных лесных полос может меняться в зависимости от типа и ширины полосы, состава пород и схем их смешения, площади отчуждения территории под дороги, урожайности зерновых, величины инфляции и банковского процента, размера зарплаты, стоимости посадочного и горюче-смазочных материалов и др. факторов.

Одним из факторов, способных повысить экономическую эффективность полезащитных лесных полос, может быть введение в их состав сортовых тополей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вечканов, Г.С. Современная экономическая энциклопедия [Текст] / Г.С. Вечканов, Г.Р. Вечканова. – СПб.: Издательство «Лань», 2002. – 880 с.
2. Воронежский статистический ежегодник–2005 [Текст]. – Воронеж: Изд-во территориального органа федеральной службы Госстатистики по Воронежской обл., 2006. – 308 с.
3. Защитное лесоразведение [Текст]//Рос. лесн. газета. – 2006. – Март (№ 8–10). – С. 21–22.

4. Защитное лесоразведение в СССР [Текст] / Б.А. Абакумов [и др.]; под ред. Е.С. Павловского – М.: Агропромиздат, 1986. – 263 с.
5. *Константинов, Р.А.* Лесные полосы и урожай [Текст] / Р.А. Константинов, Л.Р. Струзер. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 176 с.
6. *Константинов, Р.А.* Лесные полосы и урожай [Текст] / Р.А. Константинов, Л.Р. Струзер. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 214 с.
7. Лесомелиорация ландшафтов [Текст]: метод. указания к выполнению курсовой работы / Я.В. Панков [и др.]. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 46 с.
8. *Максименко, А.П.* Защитное лесоразведение в условиях Краснодарского края [Текст] / А.П. Максименко // Оптимизация ландшафтов зональных и нарушенных земель: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 22–24 сент. 2004 г. / под ред. Я.В. Панкова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – С. 28–30.
9. *Мелехов, И.С.* Лесоведение [Текст] / И.С. Мелехов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.
10. *Михина, Е.А.* Агроэкологические условия формирования лесоаграрных ландшафтов [Текст] / Е.А. Михина, В.И. Михин // Оптимизация ландшафтов зональных и нарушенных земель: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 22–24 сент. 2004 г. / под ред. Я.В. Панкова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – С. 38–39.
11. *Рымарь, В.Т.* Оптимизация балочных водосборов и ведение лесного хозяйства в защитных лесонасаждениях [Текст] / В.Т. Рымарь. – М.: РАСХН, 2006. – 66 с.
12. *Павловский, Е.С.* Экологические и социальные проблемы агролесомелиорации [Текст] / Е.С. Павловский. – М.: Агропромиздат, 1988. – 182 с.
13. Продуктивность тополей в Центральном Черноземье [Текст] / А.П. Царев [и др.] // Селекция древесных растений на устойчивость и продуктивность. – Воронеж: ЦНИИ лесной генетики и селекции, 1990. – С. 8–16.
14. Российский статистический ежегодник–2006 [Текст]. – М.: Росстат, 2006. – 808 с.
15. *Рылько, Д.* Во всем виноват мировой рынок [Текст] / Д. Рылько // Рос. газета. – 2007. – 20 июля (№ 155). – С. 6.
16. *Столповская, Н.* Хлебный колос стал еще более золотым [Текст] / Н. Столповская // Аргументы и факты. Черноземье. – 2007. – 18 июля (№ 29). – С. 3.
17. *Трещевский, И.В.* Лесные мелиорации и зональные системы противоэрозийных мероприятий [Текст]: учеб. пособие / И.В. Трещевский, В.Г. Шаталов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1982. – 264 с.
18. *Трещевский, И. В.* Полезащитное лесоразведение [Текст] / И.В. Трещевский, П.В. Ковалев, В.К. Попов. – Воронеж: ЦЦЗ кн. изд-во, 1973. – 129 с.
19. *Трибунская, В.М.* Экономическая эффективность защитного лесоразведения [Текст] // Защитное лесоразведение в СССР / В.М. Трибунская [и др.]; под ред. Е.С. Павловского. – М.: Агропромиздат, 1986. – С. 237–242.
20. *Царев, А.П.* Рекомендации по выращиванию насаждений тополя в юго-восточной части европейской территории РСФСР [Текст] / А.П. Царев. – Воронеж: ЦНИИ лесной генетики и селекции, 1986. – 37 с.
21. *Царев, А.П.* Сортоведение тополя [Текст] / А.П. Царев. – Воронеж: Изд-тво ВГУ, 1985. – 152 с.
22. *Царев, В.А.* Вегетативная репродукция и испытание тополя в Волгоградской области [Текст]: автореф. дисс. ... канд. с-х. наук (06.03.01.) / А.П. Царев. – Воронеж, 1995. – 19 с.

23. Царев, А.П. Селекция и репродукция лесных древесных пород [Текст] / А.П. Царев, С.П. Погиба, В.В. Тренин. – М.: Логос, 2003. – 504 с.
24. Четыркин, Е.М. Финансовая математика [Текст]: учеб. / Е.М. Четыркин – 3-е изд. – М.: Дело, 2003. – 400 с.
25. Чкаников, М. Зерновой удар [Текст] / М. Чкаников // Рос. газета. – 2007. – 20 июля (№ 155). – С. 6.

Поступила 16.10.07

*A.P. Tsarev<sup>1</sup>, V.A. Tsarev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Petrozavodsk State University

<sup>2</sup>Voronezh State Forestry Engineering Academy

### **Economic Efficiency of Poplar Shelterbelts**

Based on the example of Central Chernozem Area of the European Russia it was shown that poplar shelterbelts (black and balsam poplar) may cover expenses on their creation and harvest losses on areas they grow approximately by 18-19 years. Economic efficiency of shelterbelts could be enhanced by introducing the best cultivars into its structure.

Keywords: shelterbelt forestry, time factor, bank interest, inflation, cost efficiency, high-graded poplars.

---



УДК 630\*31

*А.П. Коновалов, А.А. Селиверстов*

Петрозаводский государственный университет

Коновалов Александр Петрович родился в 1971 г., окончил в 1998 г. Петрозаводский государственный университет, старший преподаватель кафедры экономики и управления производством ПетрГУ. Имеет 23 печатные работы в области экономики и управления производством, технологии и машин лесозаготовок и лесного хозяйства.  
E-mail: akon@psu.karelia.ru



Селиверстов Александр Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2005 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, преподаватель кафедры тяговых машин ПетрГУ. Имеет 20 печатных работ в области технологии и машин лесозаготовок и лесного хозяйства, машиностроения.  
E-mail: saa.pk@onego.ru



### **СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ ПО КОМПЛЕКСНОМУ КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Дано сравнение технологических процессов лесосечных работ по комплексному критерию, учитывающему качество заготавливаемых лесоматериалов, производительность систем машин и удельные прямые эксплуатационные затраты. Применение данной методики позволяет выбрать наиболее эффективную технологию лесозаготовок в Карелии.

*Ключевые слова:* технологии лесозаготовок, сравнительная оценка, эффективность, комплексный критерий.

Комплексная оценка деятельности любой организации основана на изучении совокупности показателей, отражающих большинство аспектов хозяйственных процессов. Применительно к лесному сектору сегодня актуальна комплексная оценка перехода лесозаготовительных предприятий на новые механизированные технологии. Планируя их экономическую эффективность, предприятия ориентируются в основном на минимизацию затратной части лесозаготовок. Однако важно учитывать и другие факторы, рассматривать их комплексно. Для решения поставленной задачи нами предложен комплексный критерий эффективности, учитывающий следующие параметры:

- качество заготавливаемых круглых лесоматериалов, оцениваемое по верхнему или нижнему складу в зависимости от технологических процессов лесосечных работ;

- производительность комплексов машин и механизмов, выполняющих лесосечные работы в определенном технологическом потоке;
- производственные затраты.

Поскольку задача является многокритериальной, решаем ее на основе теории важности критериев. Предлагаемый комплексный критерий ( $u$ ) имеет следующий вид:

$$u = \sum_{j=1}^n c_j x_j ,$$

где  $c_j$  – вес (коэффициент важности в единой шкале), определяемый с использованием экспертных оценок;

$x_j$  – соответствующий показатель, включаемый в комплексный критерий.

Значение  $u$ -критерия изменяется в интервале от 0 до 1. Самым эффективным является технологический процесс лесосечных работ, при котором этот критерий максимален, так как обеспечивается наиболее эффективное сочетание производительности и затрат при требуемом качестве заготавливаемых круглых лесоматериалов. Данный подход позволяет выявить наиболее эффективный технологический процесс и в дальнейшем обосновать экономическую эффективность применения систем лесозаготовительных машин и области их применения.

Для сравнения технологических процессов по предлагаемому критерию нами исследованы лесозаготовительные предприятия, обеспечивающие до 40 % лесозаготовок в Карелии. Они используют три основные технологии лесозаготовок: деревьями (18 % объемов), хлыстами (42 %) и сортиментами (40 %). Несмотря на то, что доля заготовки деревьями по рассматриваемым предприятиям высока, в России она не нашла широкого применения.

Данные технологии отличаются по уровню механизации, фазам лесозаготовок, видам вывозки и пр. В рамках статьи рассматриваем только первую фазу лесозаготовок – лесосечные работы, поскольку от их эффективности в итоге зависит выбор технологии. Каждый из технологических процессов лесосечных работ также имеет свои особенности, определяемые природно-производственными условиями, типом применяемых машин и механизмов, долей использования ручного труда. В зависимости от уровня механизации и применяемой техники были выявлены пять групп технологических процессов лесосечных работ:

*A* – сортиментная механизированная: валка, обрезка сучьев и раскряжевка харвестером, трелевка форвардером;

*B* – сортиментная механизированная: валка бензопилой, обрезка сучьев и раскряжевка бензопилой, трелевка форвардером;

*C* – хлыстовая механизированная (традиционная): валка бензопилой, обрезка сучьев бензопилой (или обрубка топором), трелевка чокерным трелевочным трактором;

*D* – деревьями механизированная: валка валочно-пакетирующей машиной, трелевка скиддером (трелевочным трактором с пачковым захватом);

*E* – деревьями механизированная: валка бензопилой, трелевка чокерным трелевочным трактором.

При оценке потребности в основных производственных механизмах и расчете технико-экономических показателей их использования главным является сменная производительность. От этого показателя зависит число машино-смен для выполнения производственной программы, т. е. потребность в механизмах. Чем выше сменная производительность, тем меньше требуется машино-смен, а значит и механизмов. В рамках исследования определена средняя выработка на машино-смену по рассматриваемым технологическим процессам. Выявлено, что наибольшую выработку дает технология *D*, а наименьшую – *C*. В то же время при использовании технологии *D* наблюдаются существенные различия в производительности по предприятиям, вызванные недостаточной организацией лесосечных работ, перерывами в ожидании перебазирования техники с делянки на делянку, большими сроками ремонтных работ из-за слабо развитой системы технического обслуживания машин. Незначительный диапазон наблюдается при работе по технологии *C*, что обусловлено ее традиционностью и отсутствием резервов повышения производительности. Производительность по технологии *A* выше, чем по *B*, для которой характерен наибольший диапазон выработки [2].

Все расходы на выполнение лесосечных работ при заготовке круглых лесоматериалов в каждом периоде складываются из текущих и части единовременных расходов на изготавливаемую продукцию [1, 5, 6]. Минимум затрат дает технология *B*, поскольку в этом технологическом процессе используется меньше единиц техники, а диапазон затрат по предприятиям изменяется незначительно. В то же время наибольший диапазон затрат характерен для технологии *A*, но при грамотной организации лесосечных работ и высокой производительности техники она менее затратна по сравнению с другими рассматриваемыми технологиями.

По уровню себестоимости продукции проигрывают традиционные варианты *C*, *D* и *E*, включающие, помимо комплекса лесосечных работ и вывозки, и нижескладские работы. Учитывая высокую стоимость используемого оборудования, большую степень его изношенности и низкий коэффициент использования, можно говорить о том, что данные технологические процессы требуют больших затрат, чем сортиментная технология, позволяющая получать готовую продукцию практически на верхнем складе.

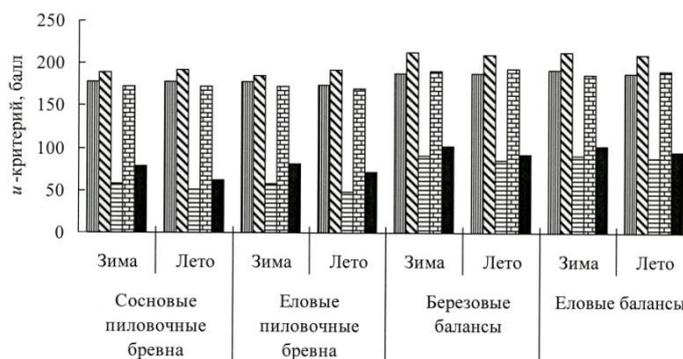
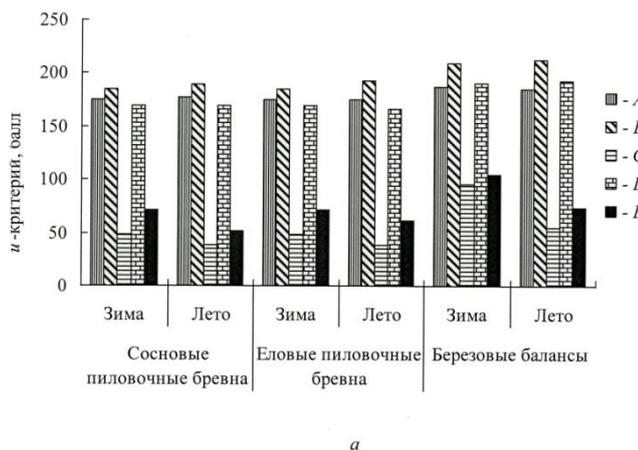
В современных условиях хозяйствования нельзя игнорировать качество заготовленных круглых лесоматериалов [3]. Как показали исследования, оно непосредственно связано с технологией лесозаготовок, применяемыми машинами и технологическим оборудованием, временем и местом проведения рубок, а также квалификацией и профессиональным мастерством операторов лесозаготовительной техники [4]. Самое высокое качество заготовленных сортиментов (брак до 3 %) обеспечила сортиментная механизированная технология во всех исследованных районах Карелии, отличающихся породным составом древостоя. Сортиментная механизированная технология и механизированная заготовка деревьями показали приемлемое качество сортиментов (брак до 4 и 5 %). Качество круглых лесоматериалов, заготовленных по хлыстовой технологии и механизированной заготовке деревьями, особенно в летний сезон, было низким (брак до 8 и 7 % соответственно).

### Ранжирование технологических процессов по рассматриваемым параметрам

Технологический процесс	Производительность	Затраты	Качество
<i>A</i>	3	2	1
<i>B</i>	2	1	2
<i>C</i>	5	5	5
<i>D</i>	1	3	3
<i>E</i>	4	4	4

Оценивая в целом технологические процессы по указанным параметрам, можно увидеть, что наиболее привлекательны технологии *A*, *B* и *D* (см. таблицу). Но применение технологии *D* ограничено, в первую очередь, низким уровнем предложения используемых машин. Кроме того, на Северо-Западе РФ традиционно идет мощное лоббирование и экспансия лесозаготовительной техники, работающей по «скандинавской» технологии, применение которой сегодня достигает 70 %.

Распределение технологий по *u*-критерию: *a* – поставка на экспорт (качество оценивали по ТУ 13-2-12-96 для хвойных пиловочных бревен и ТУ 13-2-1-95 для березовых балансов); *б* – поставка на российский рынок (качество оценивали по ГОСТ 9463-88)



Рассмотрим эффективность технологических процессов по комплексному критерию с учетом влияния наиболее существенных природно-производственных факторов (см. рисунок):

- сезонного (зима, лето);
- последующего назначения заготавливаемых круглых лесоматериалов различных пород в соответствии с предъявляемыми к ним техническими требованиями из контрактов потребителей, а также дополнительными требованиями к качеству, установленными на лесозаготовительных предприятиях.

Из рисунка видно, что хоть и при незначительном опережении для всех условий и пород наиболее эффективным является технологический процесс *B*, который отличается малыми удельными эксплуатационными затратами, приемлемыми качеством заготовленных круглых лесоматериалов и производительностью. Затем следует технологический процесс *A* по основным и еловым пиловочным бревнам при поставках как на экспорт, так и на внутренний рынок, а также по еловым балансам в зимний период при поставке на внутренний рынок. Технологический процесс *D* приближается к *A* по критерию эффективности только при оценке производства березовых балансов в зимний и летний периоды при поставках как на внутренний рынок, так и на экспорт, а также по еловым балансам в зимний период в случае поставок на внутренний рынок. Технологии *E* и *C* существенно отстают по *и*-критерию, поэтому (по принципу Парето) не рассматриваются.

#### *Выводы*

1. Наиболее эффективны в рассматриваемом случае по комплексному критерию сортиментный механизированный технологический процесс лесосечных работ *B*, а также сортиментный машинизированный *A* и деревьями машинизированный *D*.

2. При сравнении и обосновании применения технологий для конкретных природно-производственных условий необходимо в качестве важнейших индикаторов использовать такие технико-экономические факторы, как качество, производительность и затраты, которые являются основой для расчета комплексного критерия эффективности. Исходя из этого, по результатам проведенных исследований можно заключить, что в условиях Северо-Запада РФ наиболее перспективна сортиментная технология лесозаготовок (*A* и *B*).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заготовка древесины по сортиментной технологии. Рекомендации по расчету затрат [Текст] / НИИ леса Финляндии. – Исслед. центр Йоэнсуу, 2004. – 16 с.
2. Коновалов, А.П. Технологии лесозаготовок: оценка по технико-экономическим факторам [Текст] / А.П. Коновалов, А.А. Селиверстов // Лесн. эксперт. – 2008. – № 1 (47) – С. 76–81.
3. Полубояринов, О.И. Оценка качества древесного сырья [Текст]: учеб. пособие для студентов лесотехн. вузов. – Л.: ЛТА, 1971. – 70 с.

4. *Сюнев, В.С.* Исследование влияния сортиментной заготовки леса на качество получаемого древесного сырья [Электронный ресурс] / В.С. Сюнев, А.А. Селиверстов // Науч. журн. БГИТА. – Брянск: БГИТА, 2006. – Режим доступа: [http://science-bsea.narod.ru/2006/les\\_2006/syunev\\_issledovan.htm](http://science-bsea.narod.ru/2006/les_2006/syunev_issledovan.htm), свободный. – Загл. с экрана.

5. *Сюнев, В.С.* Особенности учета затрат при различных технологиях заготовки леса на предприятиях Республики Карелия [Текст] / В.С. Сюнев, А.П. Коновалов, А.А. Селиверстов // Лесн. эксперт. – 2006. – № 1(38). – С. 60–62.

6. *Тихоненко, В.А.* Классификация и содержание затрат лесозаготовительной отрасли [Текст] / В.А. Тихоненко // Проблемы региональной экономики: тр. Петрозавод. гос. ун-та. Сер. Экономика. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. – Вып. 6. – С. 174–182.

Поступила 02.10.08

*A.P. Konovalov, A.A. Seliverstov*  
Petrozavodsk State University

#### **Comparison of Technological Processes of Logging Operations according to Complex Efficiency Criterion**

Comparison of technological processes of logging operations according to the complex criterion is provided considering quality of the harvested timber, efficiency of machine systems and specific direct operational costs. Application of the given technique allows to choose the most efficient technology of forest harvesting.

Keywords: forest harvesting technologies, comparative assessment, efficiency, complex criterion.

---

УДК 630\*839

**В.И. Посметьев, О.С. Алимова**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Посметьев Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1978 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 240 научных работ в области повышения эксплуатационных свойств машин лесного комплекса.  
E-mail: posmetyev@mail.ru



Алимова Ольга Сергеевна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТА. Имеет 20 научных работ в области разработки технологического процесса получения и переработки древесного сырья.  
Тел.: (4732) 53-74-11



### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТДЕЛЕНИЯ ХВОИ ТРАДИЦИОННЫМИ И ПЕРСПЕКТИВНЫМИ СПОСОБАМИ**

Изложены результаты лабораторных экспериментов по отделению хвои способами СВЧ-обработки, нагрева и глубокого охлаждения.

*Ключевые слова:* отделение хвои, СВЧ-обработка, глубокое охлаждение, термический нагрев.

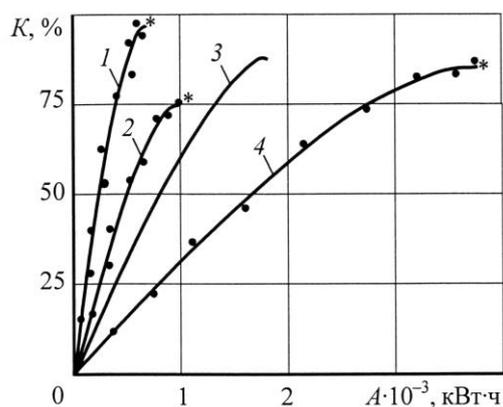
Комплексное использование биоресурсов планеты является актуальной задачей современных науки и производства. В лесном комплексе решение этой проблемы заключается в создании эффективных технологий по глубокой переработке лесного сырья и, в частности, получение высококачественной хвои [4]. Многолетний опыт по разработке и широкому внедрению оборудования для отделения древесной зелени деревьев хвойных пород (сосна, ель, пихта и др.) не дал желаемых результатов в связи с низкой эффективностью традиционной технологии [1, 5]. В настоящее время нет фундаментальных научных разработок как механизма отделения хвои с учетом ее биологических особенностей и физико-механических свойств, так и новых перспективных технологий. Поэтому представляют интерес выполненные в ВГЛТА экспериментальные исследования, результаты которых позволяют надеяться на положительное решение задачи [2].

Предварительные эксперименты заключались в укрупненной оценке эффективности и возможности практической реализации следующих технологий отделения хвои: воздействием высокой температуры в термошкафу, глубокого охлаждения в среде жидкого азота, методом СВЧ-обработки в микроволновой печи. Методика проведения экспериментов и обработки полученных данных подробно изложена авторами в работе [2]. Здесь на рис. 1 представлены графики зависимости качества  $K$  отделения хвои от затрачива-

емой работы  $A$ .

Анализ кривых свидетельствует о явном преимуществе СВЧ-обработки (кривая 1) как по энергозатратам (0,007 кВт·ч), так и по качеству отделения хвои (3 % неотделившихся хвоинок). Так, энергозатраты этого способа в среднем в 1,7; 2,8 и 5,8 раза ниже аналогичных показателей других способов отделения хвои (кривые 2–4). Высокие энергозатраты низкотемпературного воздействия на хвою (кривая 4) объясняются повышенными сложностью и дороговизной получения жидкого азота, а механического (кривая 3) – необходимостью неоднократного повтора операции отделения и очистки хвои для получения заданного качества конечного продукта. Оба эти способа все же не обеспечивают должного качества получаемого сырья, оно не превышает соответственно 85 и 90 %. Основными недостатками способа высокотемпературного воздействия (кривая 2) является низкая степень отделения хвои, не более 75 %, а также трудность обеспечения ее равномерного прогрева. Показатель качества нельзя улучшить, увеличивая температуру или продолжительность теплового воздействия на хвою, так как в этом случае неизбежны ее ожоги и снижение содержания полезных каротина и витаминов.

Рис. 1. Зависимость качества  $K$  отделения хвои от затрачиваемой работы  $A$ : 1 – СВЧ-обработка; 2 – нагрев; 3 – механический способ (по данным [4]); 4 – глубокое охлаждение. Звездочками отмечено минимальное содержание каротина 70 мг/кг



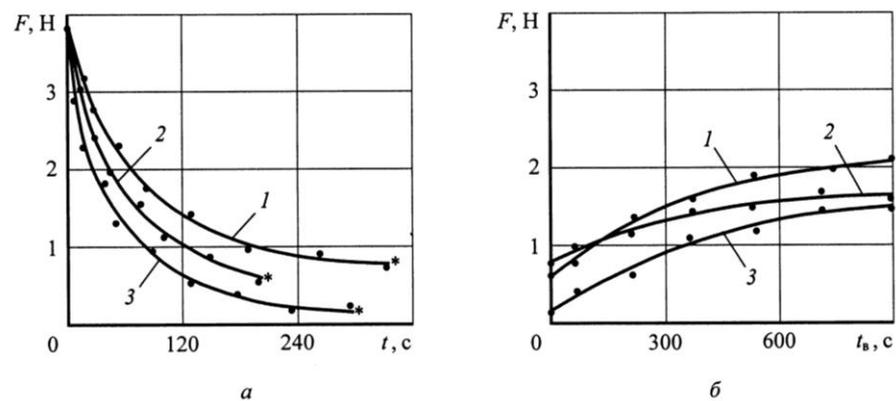
Результаты экспериментов показали все же явное преимущество всех трех исследуемых способов перед механическим, обеспечение относительно высокой самоотделяемости хвои. Это позволяет существенно снизить дополнительные энергозатраты на доотделение хвои путем последующей механической обработки. При этом, как следует из графика, при СВЧ-обработке доотделение хвои практически не требуется, что, естественно, повышает экономичность способа.

На первой стадии исследований было выявлено, но не изучено влияние на усилие отрыва хвои от стебля таких факторов, как динамические воздействия, ориентация хвоинки относительно стебля, местоположение хвоинки на ветке (на одревеневшей и неодревеневшей ее частях). Таким образом, анализ результатов предварительных экспериментов в целом подтвердил возможность и перспективность исследуемых способов отделения хвои, но не позволил однозначно установить наиболее эффективный из них.

С учетом выявленных особенностей процесса отделения хвои на

следующем этапе были определены приоритетные задачи и выполнены соответствующие лабораторные эксперименты. Для этого разработаны методика углубленных исследований и оборудование, позволяющие более детально изучить влияние перечисленных факторов на усилие отрыва хвои от стебля для разных способов.

Серии опытов на экспериментальной установке выполняли в определенной последовательности. Вначале для каждого способа отделения хвои определяли максимально возможные температуру и продолжительность нагрева, охлаждения и СВЧ-обработки. При этом основным критерием годности после термообработки считалась хвоя с содержанием каротина не менее 70 мг/кг. Опыты проводили при естественных углах между осями хвоинки и стебля ( $45^\circ$ ). Затем определяли усилие отрыва хвоинки при нагреве и охлаждении в выявленном допустимом диапазоне температур. Кроме этого, были выполнены серии опытов по определению влияния релаксации (частичного восстановления утраченных свойств) на усилие отрыва хвоинки. Для этого после каждой операции термообработки до момента включения механизма отрыва делали выдержки во времени продолжительностью от 0 до 900 с (с интервалом 60 с). Каждый опыт повторяли трехкратно с последующим усреднением значений пара-



мет] Рис. 2. Зависимость усилия  $F$  отрыва хвоинки от продолжительности воздействия  $t$  (а) и выдержки во времени  $t_b$  (б): 1 – нагрев; 2 – глубокое охлаждение; 3 – СВЧ-обработка

Анализ кривых свидетельствует о существенном влиянии времени воздействия нагрева или охлаждения. Продолжительность такого воздействия при нагреве, глубоком охлаждении и СВЧ-обработке составила соответственно 350, 200 и 300 с. Усилие отрыва хвоинки после СВЧ-обработки значительно снизилось по сравнению с нагревом и глубоким охлаждением – соответственно в 6,3 и 4,8 раза, а без тепловой обработки – в 19 раз. Минимальные усилия отрыва хвоинки от стебля были зафиксированы в опытах с СВЧ-обработкой, которые составили 0,2 Н (кривая 3 на рис. 2, а) против 0,8 и 0,6 Н при нагреве и глубоком охлаждении (кривые 1 и 2).

Выявлена значительная зависимость восстановления прочности связи хвоинки со стеблем от времени выдержки в период от конца нагрева или

охлаждения до включения механизма отрыва установки. Опытами определено, что среднее время частичного восстановления прочности крепления хвоинки к стеблю (релаксации) составило 600 с при глубоком охлаждении, 800 с при СВЧ-обработке и 900 с при нагреве (кривые 2, 3 и 1 на рис. 2, б). За это время усилия отрыва хвоинки увеличились в 3,5; 2,2 и 7,5 раза, а максимальные в конце релаксации составили 2,1; 1,6 и 2,4 Н соответственно при нагреве, глубоком охлаждении и СВЧ-обработке. Эти усилия в 1,8; 2,4 и 1,6 раза меньше, чем у контрольного образца хвоинки и стебля в нормальных условиях без воздействия нагрева и охлаждения.

Экспериментально исследовано также влияние влажности окружающей среды в месте крепления хвоинки со стеблем на параметры релаксации (время и усилие отрыва хвоинки). В частности, при зафиксированных условиях проведения опытов в лаборатории (давление 0,1013...0,1014 МПа, температура 16...18 °С, влажность воздуха 40...45 %) продолжительность времени релаксации с увеличением относительной влажности на 10, 20 и 30 % уменьшилась в среднем соответственно на 7, 12 и 20 %. При этом влияние способа нагрева или охлаждения хвоинки и стебля оказалось несущественным. В аналогичных условиях усилие отрыва хвоинки возросло незначительно, в среднем на 3, 5 и 9 %, т. е. находилось в пределах ошибки измерений.

Выявленная релаксация, очевидно, объясняется частичным восстановлением внутренней структуры (форма и геометрические размеры клеток и других элементов) ножки хвоинки и стебля в результате интенсивного насыщения их влагой, вытесненной ранее из окружающей среды. В то же время изменение влажности в аналогичных опытах с контрольными образцами хвоинок и стеблей не вызвало заметной релаксации.

Отдельно на установке была исследована зависимость усилия отрыва от угла между осями хвоинки и стебля (угол отрыва) как в продольном, так и в поперечном относительно оси стебля направлениях. С этой целью поворотную монтажную площадку, стебель и ложе фиксирующего устройства установки монтировали и закрепляли в определенном положении. Устанавливали следующие углы отрыва хвоинки: в продольном направлении 10, 45° (естественное положение хвоинки на стебле), 90 и 170°; в поперечном 90° (естественное положение хвоинки на стебле), 135 и 180°. Результаты опытов показали, что наибольшее усилие отрыва хвоинки достигается при ее естественном положении на стебле и уменьшается с увеличением отклонения от этого положения как в продольном, так и в поперечном направлениях. В продольном направлении усилие отрыва при углах 10, 90 и 170° уменьшалось соответственно на 20, 30 и 50 %, а в поперечном при углах 135 и 180° – на 25 и 40 %.

Обобщение результатов комплексного экспериментального исследования по отделению хвои различными способами позволило сделать следующее заключение:

СВЧ-обработка хвойных лапок в 1,7; 2,8 и 5,8 раза менее энергозатратна, чем нагрев, механический способ и глубокое охлаждение;

наиболее высокое качество отделения хвои обеспечивается при СВЧ-обработке, оно составляет 97 % против 85, 75 и 90 % соответственно при

глубоком охлаждении, нагреве и механическом способе;

СВЧ-обработка обеспечивает высокое качество отделения хвои за одну операцию, тогда как другие способы требуют повторных операций для доочистки хвои;

при прочих равных условиях усилие отрыва хвоинки от стебля после СВЧ-обработки в 4,8; 6,3 и 19,0 раз меньше, чем соответственно при глубоком охлаждении (до  $-120^{\circ}\text{C}$ ), нагреве (до  $300^{\circ}\text{C}$ ) и механическом отделении;

на усилие отрыва хвои существенно влияет процесс релаксации, который в значительной степени определяется влажностью окружающей среды, временем выдержки между концом теплового воздействия и моментом отрыва хвоинки и в меньшей степени способом отделения;

за время релаксации (600...900 с) усилия отрыва хвоинки увеличились в 3,5; 2,2 и 7,5 раза и в конце релаксации составили 2,1; 1,6 и 2,4 Н соответственно при нагреве, глубоком охлаждении и СВЧ-обработке;

для устранения отрицательного влияния релаксации в проектируемой установке необходимо исключать или сводить к минимуму время выдержки, а влажность снижать путем интенсивной вентиляции рабочей камеры хвоеотделителя;

наибольшее усилие отрыва хвоинки достигается при ее естественном положении на стебле и уменьшается на 20...50 % с увеличением отклонения от этого положения как в продольном, так и в поперечном направлениях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кевиньш, Ю.Ю.* Механизация заготовки древесной зелени и щепы из лесосечных отходов [Текст]: обзор / Ю.Ю. Кевиньш. – Рига: ЛатНИИЛХ, 1980. – 39 с.
2. *Посметьев, В.И.* К моделированию процесса СВЧ-нагрева древесной зелени [Текст] / В.И. Посметьев, О.С. Калашникова // Лесн. вестн. – 2006. – С. 3–5. – (Препринт 103).
3. *Посметьев, В.И.* Обоснование способа и схемы установки для отделения хвои [Текст] / В.И. Посметьев, О.С. Калашникова // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – С. 28–30.
4. *Свиридюк, К.А.* Механизированная заготовка древесной зелени [Текст] / К.А. Свиридюк [и др.] // Лесн. пром-сть. – 1984. – № 6. – С. 14.
5. *Торговников, Г.И.* Сверхвысокочастотный способ обработки древесной зелени [Текст] / Г.И. Торговников, Т.В. Минакова // Лесн. журн. – 1983. – № 2. – С. 52–55. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 18.06.08

*V.I. Posmetjev, O.S. Alimova*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

**Efficiency Assessment of Needles Separation by Traditional and Perspective Methods**

---

The results of laboratory experiments are provided for the needles separation by superhigh frequency processing, heating and deep freezing.

Keywords: needles separation, superhigh frequency processing, deep freezing, thermal heating.

---

УДК 631.3.072

*И.Е. Донцов*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Донцов Игорь Евгеньевич родился в 1959 г., окончил в 1984 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ по научным основам создания комбинированных машинно-тракторных агрегатов для лесовосстановления.  
E-mail: dontsovie@mail.ru



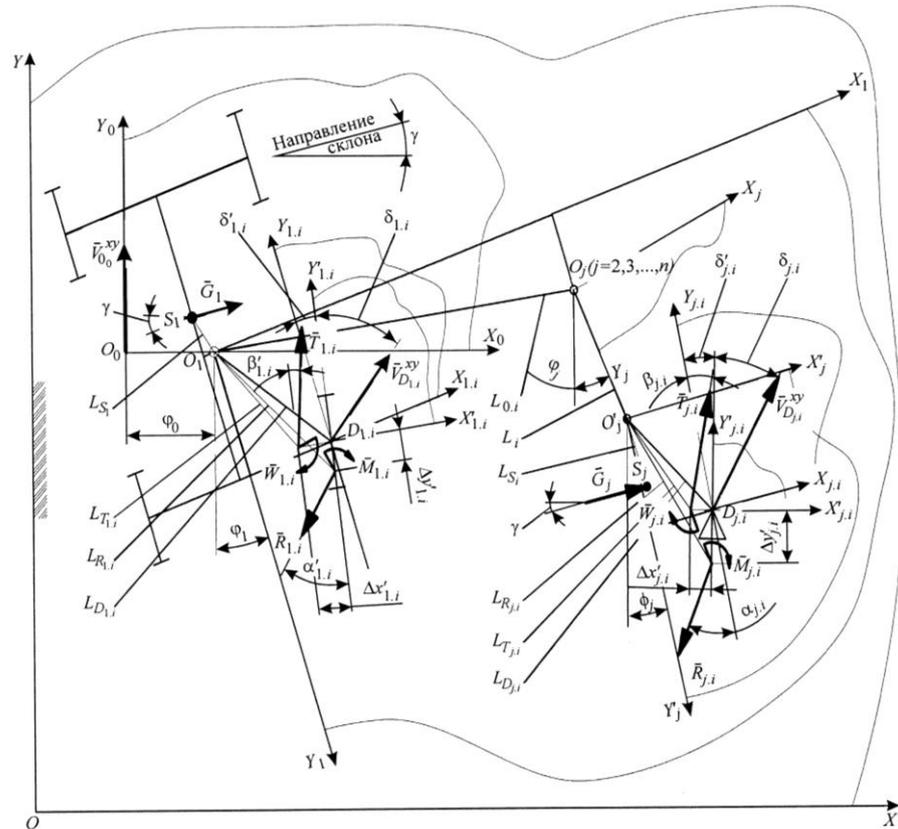
### **ПОВЫШЕНИЕ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ МАШИНО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ**

Рассмотрены вопросы моделирования колебаний машинно-тракторных агрегатов с орудиями фронтальной, боковой и задней навески. Получены дифференциальные уравнения вынужденных колебаний в горизонтальной плоскости.

*Ключевые слова:* устойчивость движения, вынужденные колебания, навесное орудие, трактор.

Для снижения антропогенного влияния и повышения эффективности лесовосстановительных работ используют комбинированные машинно-тракторные агрегаты (КМТА) с орудиями задней, фронтальной и боковой навески. Исследованиями [2] установлено, что фронтальные и боковые орудия оказывают дестабилизирующий эффект на движение КМТА. Цель данной работы – рациональный выбор параметров агрегатирования, позволяющих повысить устойчивость движения.

Нами проанализированы дифференциальные уравнения колебаний КМТА в горизонтальной плоскости. Расчетная схема показана на рис. 1.



Подвы Рис. 1. Расчетная схема КМТА с навесными орудиями уч-  
тены: 1) поперечное смещение  $\varphi_0$  трактора вдоль оси  $X_0$ ; 2) колебания трак-  
тора  $\varphi_1$  вокруг точки  $O_1$  – центра давления трактора (ЦДТ); 3) колебания  
 $n-1$  навесных орудий  $\varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$  вокруг точек  $O_2, O_3, \dots, O_n$ . Условно, что колебания трактора ( $\varphi_0$  и  $\varphi_1$ ) происходят в плоскости  $X_0Y_0$ , которая движется прямолинейно и равномерно со скоростью  $V_{O_0}^{XY}$  по неподвижной горизонтальной (наклонной) плоскости  $X_1Y_1$ . Центры координатных осей  $X_jY_j$  (точки  $O_j$ , здесь  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  – индекс обобщенных координат) характеризуют положение ЦДТ и место установки навесной системы орудия на тракторе (спереди, сбоку или сзади). Координатные оси  $X_{j,i}Y_{j,i}$  неподвижно связаны с орудиями в точках  $D_{j,i}$  – центрах приведения сил взаимодействия колес или рабочих органов с почвой ( $i=1, 2, \dots, N$  – индекс рабочих органов).  
На схеме также обозначены: точки  $S_j$  – центры масс трактора и орудий;  $R_{j,i}, M_{j,i}$  – главные векторы и моменты сил сопротивления колес и рабочих органов;  $T_{j,i}, W_{j,i}$  – главные векторы и моменты движущих (тормозящих) сил ведущих колес трактора и орудий;  $G_j$  – горизонтальные составляющие сил тяжести соответственно трактора и орудий при работе на склонах;  $\alpha_{j,i}, \beta_{j,i}$  – углы поворота главных векторов сил взаимодействия;  $\Delta x'_{R_{j,i}}, \Delta y'_{R_{j,i}}$  –

смещения равнодействующих сил сопротивления колес трактора и рабочих органов от точек приведения;  $\Delta x'_{T_{j,i}}, \Delta y'_{T_{j,i}}$  – смещения равнодействующих движущих сил колес трактора и рабочих органов от точек приведения;  $V_{O_j}^{XY}, V_{D_{j,i}}^{XY}$  – векторы абсолютных скоростей точек приведения (в плоскости XY);  $\delta_{j,i}$  – углы поворота векторов абсолютных скоростей от продольной оси колес или рабочих органов;  $\delta'_{j,i}$  – фиксированные углы поворота управляемых колес (рабочих органов);  $\gamma$  – направление склона по отношению к основному (переносному) движению.

Геометрические параметры системы:  $x_{S_j}, y_{S_j}$  – координаты точек  $S_j$  в плоскости  $X_j Y_j$ ;  $x_{O_j}, y_{O_j}$  – координаты точек  $O_j$  в плоскости  $X_1 Y_1$ ;  $L_j$  – длина  $j$ -й навесной системы, если орудие не тянут, а толкают, то  $L_j$  следует принять со знаком минус;  $x_{D_{j,i}}, y_{D_{j,i}}$  – координаты точек приведения (рабочих органов) в плоскостях  $X' Y'_j$ ; ( $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ).

Система дифференциальных уравнений колебаний КМГА составлена ранее [1], поэтому представим ее с сокращениями. Она имеет вид

$$\begin{cases} a_{0,0}\ddot{\Phi}_0 + a_{0,1}\ddot{\Phi}_1 + a_{0,2}\ddot{\Phi}_2 + \dots + a_{0,n}\ddot{\Phi}_n = Q_0; \\ a_{1,0}\ddot{\Phi}_0 + a_{1,1}\ddot{\Phi}_1 + a_{1,2}\ddot{\Phi}_2 + \dots + a_{1,n}\ddot{\Phi}_n = Q_1; \\ \dots \\ a_{j,0}\ddot{\Phi}_0 + a_{j,1}\ddot{\Phi}_1 + a_{j,2}\ddot{\Phi}_2 + \dots + a_{j,n}\ddot{\Phi}_n = Q_j (j = 2, 3, \dots, n), \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} a_{0,0} &= m_1 + \sum_{j=2}^n m_j; \\ a_{0,1} &= \sum_{j=2}^n m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}); \\ a_{0,2} &= m_2 [L_2 + (1-u_2)L_{S_2}]; \\ &\dots \\ a_{0,n} &= m_n [L_n + (1-u_n)L_{S_n}]; \end{aligned} \quad (1a)$$

$$a_{1,0} = \sum_{j=2}^n m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}); \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= m_1 L_{S_1}^2 + J_1 + \sum_{j=2}^n [m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j})^2 + u_2 J_j]; \\ a_{1,2} &= m_2 (L_{O_2} + u_2 L_{S_2}) [L_2 + (1-u_2)L_{S_2}] + u_2 (1-u_2) J_2; \\ &\dots \\ a_{1,n} &= m_n (L_{O_n} + u_n L_{S_n}) [L_n + (1-u_n)L_{S_n}] + u_n (1-u_n) J_n; \end{aligned} \quad (16)$$

(16)



трактору и орудью;  $\rho = d_{2.0} / l_2$ , где  $l_2$  – длина навески;  $d_{2.0}$  – расстояние до точки приведения, в которой  $\beta_{2.0} = 0$  и  $M_2 = 0$ , названное приведенной длиной орудия;  $I_1, I_2$  – моменты инерции трактора относительно ЦДТ и орудия относительно центра масс;  $m_2$  – масса орудия.

Исходные данные:  $R_2 = 6$  кН,  $\alpha_{2.0} = 2,5$ ,  $\beta_{2.0} = 0$ ,  $y_{S_2} = 0,1$  м,  $m_2 = 500$  кг,  $I_2 = 500$  кг·м<sup>2</sup>,  $I_1 = 5000$  кг·м<sup>2</sup>,  $L_{D_1} = 2,0$  м.

На основании уравнений (1) по критериям Рауса – Гурвица определены некоторые области устойчивости фронтально-навесного МТА (рис. 2) в координатах  $u$  и  $k_T$  при различных значениях  $\rho$ . На графиках показано наименьшее значение  $k_T$ , при котором еще возможно устойчивое движение агрегата с орудием. С уменьшением параметра  $\rho$  диапазон допустимых значений  $k_T$  расширяется.

Так, если при длине навески 0,8 м рабочие органы вынесены вперед от оси подвеса на 8 см ( $\rho = 0,1$ ), то коэффициент тангенциальной жесткости движителей трактора должен быть  $k_T \geq 45$  кН·м/рад. Это значит, что в качестве тягового средства можно использовать гусеничный трактор Т-150 тягового класса 30 кН, для которого  $k_T = 52,4$  кН·м/рад [3]. При этом передаточное отношение  $u$  механизма навески должно быть в интервале:  $1,85 < u < 2,60$ . Если рабочие органы сместить назад на 8 см ( $\rho = -0,1$ ), то интервал допустимых значений  $u$  расширится до условия  $u > 1,55$ . В то же время при  $u > 2$  и  $\rho = -0,1$  можно использовать трактор с  $k_T \geq 26$  кН·м/рад, например, ЛТЗ-155 тягового класса 20 кН. Отметим, что совсем незначительное смещение назад рабочих органов ( $\pm 8$  см) дает возможность использовать значительно менее мощный и тяжелый трактор.

Эксперименты в полевых условиях доказали работоспособность описанных МТА. При жесткой схеме агрегатирования тракторов с указанным орудием ни один из них не был работоспособен. Трактор следовал туда, куда влекло его орудие, несмотря на сравнительно небольшое тяговое сопротивление последнего. Особенно ярко это проявлялось при установке на плуг плоского дискового ножа, который увеличивает параметр  $d_{2.0}$  на 30 см и повышает направленность орудия  $\alpha_{2.0}$  от 2,01 до 2,53.

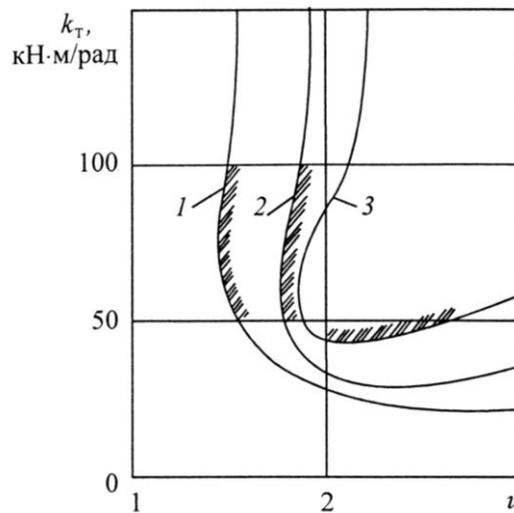


Рис. 2. Области устойчивости (заштрихованы) фронтального МТА: 1 –  $\rho = -0,1$ ; 2 –  $\rho = 0,0$ ; 3 –  $\rho = +0,1$

И все же не следует сразу отказываться от жесткой схемы агрегирования фронтальных орудий. Для некоторых рабочих органов, в основном круглого сечения ( $\alpha_{2.0} \approx 1$ ), это влияние незначительно, и иногда его удается преодолеть за счет рациональной задней навески.

Таким образом, описанные математические модели и современные вычислительные средства позволяют моделировать колебания КМТА в реальном масштабе времени. Это дает возможность на стадии проектирования, минуя полевые испытания, оптимальным образом обосновать параметры КМТА, включая тяговое средство, схему и размеры присоединительных устройств, компоновку машин, орудий и их рабочих органов, в том числе фронтальных, боковых и задней навески. Для специалистов-практиков это позволяет использовать менее мощное и, как следствие, более дешевое тяговое средство, уменьшить расход энергоресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донцов, И.Е. Устойчивость движения комбинированных машинно-тракторных агрегатов (КМТА) [Текст] / И.Е. Донцов // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – № 4. – С. 220–227.
2. Донцов, И.Е. Устойчивость движения МТА с орудиями фронтальной или задней навески [Текст] / И.Е. Донцов // Тракторы и с.-х. машины. – 2008. – № 9. – С. 31–34.
3. Панов, А.И. Устойчивость движения гусеничного трактора с плугом передней и задней навески [Текст] / А.И. Панов, И.Е. Донцов // Исследование и разработка почвообрабатывающих и посевных машин: сб. науч. тр. / ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1988. – С. 24–43.

Поступила 19.11.08

*I.E. Dontsov*  
Voronezh State Forest Engineering Academy

#### **Increase of Course-keeping Ability of Combined Machine-tractor Aggregates in Reforestation**

Modeling of machine-tractor aggregates vibrations with frontal, side and back mounted rigs is considered. Differential equations of forced vibrations in the horizontal plane are received.

Keywords: motion stability, forced vibrations, mounted rig, tractor.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 630\*811:630\*812

*Т.К. Курьянова<sup>1</sup>, А.Д. Платонов<sup>1</sup>, О.В. Аралова<sup>1</sup>, Ю.С. Снегирева<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Кубанский государственный технологический университет

Курьянова Татьяна Казимировна родилась в 1937 г., окончила в 1962 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных работ в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.

E-mail: vglawood@yandex.ru



Платонов Алексей Дмитриевич родился в 1966 г., окончил в 1993 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 70 печатных работ в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.

E-mail: vglawood@yandex.ru



Аралова Ольга Владимировна родилась в 1987 г., студентка пятого курса факультета технологии деревообработки Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет одну печатную работу в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.

E-mail: vglawood@yandex.ru



Снегирева Юлия Сергеевна родилась в 1986 г., студентка пятого курса факультета химии, нефти, стандартизации и качества Кубанского государственного технологического университета. Имеет одну печатную работу в области древесиноведения и технологий деревообрабатывающих производств.

Тел.: (861) 247-01-38



### ПОВЫШЕНИЕ ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА ПОСЛЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Предложен способ термохимической обработки, позволяющей повысить водо- и влагопроводность древесины дуба путем изменения анатомической структуры проводящих элементов.

*Ключевые слова:* древесина, тилы, водопроводность, структура, дуб.

Древесина по строению и формам связи с влагой существенно отличается от других коллоидных и капиллярно-пористых тел. Она может быть представлена в виде поликапиллярного тела. Структура клеточных стенок в главном (поперечном) направлении очень сложная. Схематически – это совокупность микрофибрилл, имеющих различное направление, между которыми и даже в них самих находятся микрокапилляры.

Размеры капилляров в стенках и полостях клеток различны. Капилляры клеточных стенок, имеющие радиус меньше  $10^{-5}$  см, являются микрокапиллярами, в них находится только связанная (адсорбционная, гигроскопическая) влага. Капилляры не постоянны и исчезают при испарении влаги.

Полости клеток, имеющие радиус больше  $10^{-5}$  см, относятся к макрокапиллярам. Их размеры остаются постоянными при изменении в них свободной влаги в области выше предела насыщения клеточных стенок.

Кроме влаги в жидкой фазе (связанная и свободная), древесина содержит парообразную влагу в макро- и микрокапиллярах, заполненных воздухом. Таким образом, в древесине при положительной температуре влага находится в двух фазовых состояниях: жидком и парообразном.

Учитывая особенности строения древесины, можно с некоторым упрощением полагать, что водо- и влагопроводность определяется эффективностью трех систем влагопроводящих путей в материале:

1. Система макрокапилляров (полости клеток), заполненных воздухом. Влага движется в основном в виде пара, проходя через полости клеток и отверстия в мембранах окаймленных или простых пор.

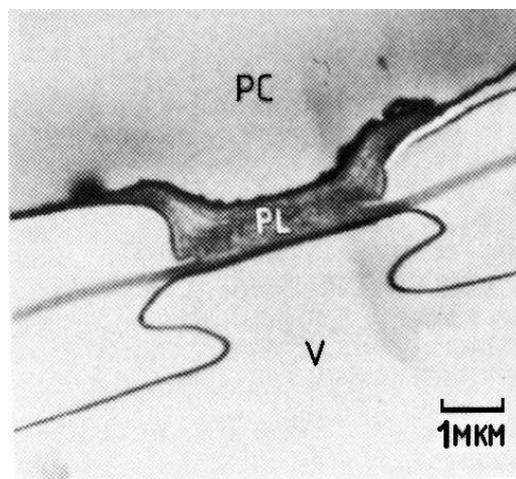
2. Система непрерывных микрокапилляров в стенках клеток, влага по которым движется в основном в виде жидкости.

3. Сложная система, состоящая из полостей клеток и прерывистых микрокапилляров, соединяющих полости смежных клеток. Здесь влага движется как в виде жидкости (микрокапилляры), так и в виде пара (полости клеток), переходя последовательно из одного агрегатного состояния в другое.

Сложное строение обуславливает, как показано в [4], и различный характер перемещения влаги внутри древесины при ее влажности ниже и выше предела насыщения клеточных стенок. При влажности выше предела насыщения клеточных стенок (когда в древесине присутствует, кроме связанной, и свободная влага, расположенная по всему объему сортимента) в древесине возможно только передвижение свободной влаги в виде жидкости под действием внешних сил (например, разности гидростатического или избыточного давления). В этом случае передвижение свободной влаги будет определяться водопроводностью (или капиллярной проницаемостью).

Несмотря на то, что изучением передвижения влаги в твердых гигроскопических телах занималось немало исследователей, полной ясности в этом вопросе нет и до настоящего времени [2, 3]. Это можно объяснить тем, что движение влаги в древесине, особенно в процессе ее высыхания, зависит от многих факторов, в том числе и от размеров полостей анатомических элементов, вида и количества пор.

Рис. 1. Полуокаймленная пора древесины дуба (PC – паренхимная клетка; V – сосуд; PL – защитный слой)



Наиболее совершенными водопроводящими элементами являются сосуды древесины лиственных пород, которые имеют большие размеры (диаметр, длина) по сравнению с другими элементами. Соприкасаясь посредством пор с соседними элементами, сосуды образуют единую водопроводящую систему.

К другим водопроводящим элементам относятся сосудистые трахеиды и сердцевинные лучи, которые оказывают большое влияние на процесс перемещения влаги в древесине. Наличие ядра в древесине значительно снижает проницаемость пор в стенках клеток, поэтому в растущем дереве водопроводящей зоной является заболонь. Этим объясняется меньшая влагопроводность ядровой (спелой) древесины по сравнению с заболонной при одинаковой плотности.

При ядрообразовании происходит закупорка сосудов и других водопроводящих элементов отложениями фенольных соединений, танинами, терпенами, жирами, воском и др. Образование ядровой древесины также связано с ростом тил в сосудах. Это естественный физиологический процесс, который может быть прерван током воды в них. Тилы в заболони образуются только с ее отмиранием, например, после рубки.

На стороне паренхимы у полуокаймленных пор сосудов древесины лиственных пород есть защитный слой, который откладывается на всей смежной с сосудом стенке паренхимной клетки (рис. 1) [1]. Он и служит местом, где начинается образование тил. Тилы – это выросты клеток древесинной паренхимы или сердцевинных лучей, внедряющихся в полость водопроводящих элементов. Чаще всего тилы образуются путем проникновения в полости крупных сосудов живых паренхимных клеток через поры, разрастаясь и растягивая их мембраны. Обычно тилы имеют вид тонкостенных пузырей (рис. 2). В их полости находятся постенная протоплазма и центральная вакуоля, довольно часто содержатся зерна крахмала, реже – кристаллы щавелевокислого кальция. Если тилы соприкасаются друг с другом, то они принимают многогранную форму и образуют внутри сосуда ложную паренхиму, клетки которой сообщаются между собой простыми порами.

У лиственных пород ядровая древесина составляет основную часть. Поэтому разработка способов разрушения тил актуальна для увеличения водопроводности ядровой, наиболее ценной части ствола дерева.

Цель данной работы – исследовать водопроводность и структуру древесины дуба после термохимической обработки.

Исследования проведены на кольцесосудистой древесине дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), сосуды которого в ядре закупориваются тилами и, благодаря своим крупным размерам в ранней древесине, представляют собой хороший объект для микроскопических наблюдений.

При высокотемпературной тепловой обработке свободная вода в сосудах превращается в пар, давление которого превышает атмосферное. Под воздействием избыточного давления паровоздушной смеси и происходит разрушение тил [4].

Исследование древесины на наличие тил было выполнено в отраженном свете микроскопа МБС-9 на радиальных сколах натуральной и термохимически обработанной древесины дуба. Использование сколов позволило наблюдать вскрытые полости сосудов на большой протяженности по длине, а также свободные от измельченных частиц, неизбежных при механической обработке и шлифовании, поверхности среза древесины.

Микрофотосъемку образцов древесины проводили с использованием видеоокуляра «Capture Pro», который позволяет формировать, анализировать и обрабатывать микроструктурные изображения с помощью персонального компьютера.

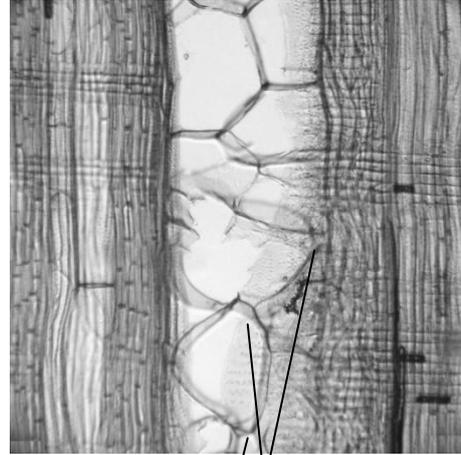


Рис. 2. Радиальный разрез древесины дуба: 1 – сосуд; 2 – тилы

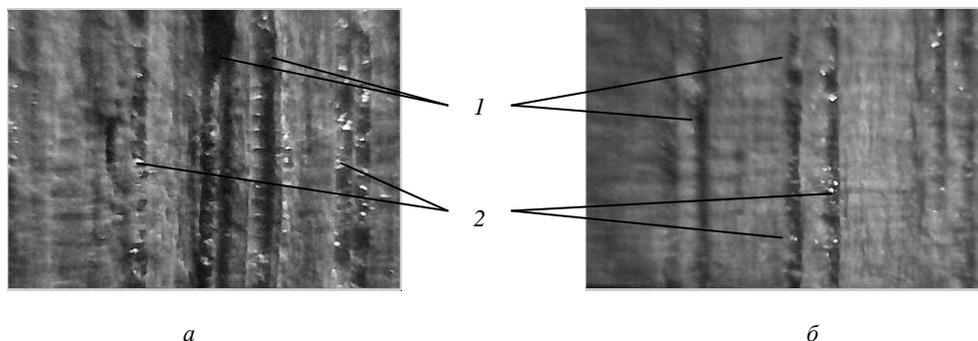


Рис. 3. Микроструктура древесины дуба: а – древесина ядра с тилами; б – древесина ядра после термохимической обработки; 1 – сосуд; 2 – тилы

Как видно из рис. 3, *a*, в ядре тилы полностью заполняют полости крупных сосудов, в заболони они встречаются редко, одиночно, или в массе – в отдельных, поврежденных какими-либо воздействиями сосудах.

Термохимическая обработка древесины приводит к практически полному разрушению тил и очищению сосудов (рис. 3, *б*).

Таким образом, воздействие высокой температуры на древесину дуба практически полностью разрушает тилы и очищает сосуды, тем самым существенно повышаются водопроводящая способность и эффективность процессов сушки и пропитки древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпаткина, Р.П. О влагопроводности древесины главнейших отечественных пород [Текст] / Р.П. Алпаткина // Деревообаб. пром-сть. – 1967. – № 9.

2. Курьянова, Т.К. Сушка твердых лиственных пород с предварительной химической обработкой [Текст] / Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов, В.С. Петровский // Лесн. журн. – 2004. – № 4. – С. 58–63.

3. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения [Текст]: учеб. для лесотехн. вузов / Б.Н. Уголев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

4. Фенгел, Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) [Текст]: пер. с англ.; под ред. А.А. Леоновича/ Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 512 с.

Поступила 17.10.08

<sup>1</sup>*T.K. Kurjanova, <sup>1</sup>A.D. Platonov, <sup>1</sup>O.V. Aralova, <sup>2</sup>Yu.S. Snegireva*

<sup>1</sup>Voronezh State Forestry-engineering Academy

<sup>2</sup>Kuban State University of Technology

#### **Increase of Oak Water Conductivity after Thermachemical Treatment**

Method of thermochemical treatment is offered allowing to increase water and moisture conductivity of the oak wood by changing the anatomical organization of conductive elements.

Keywords: wood, tyloses, water conductivity, organization. oak.

---

УДК.674.023:621.93

**А.В. Прохоров, И.О. Думанский**

Архангельский государственный технический университет

Прохоров Алексей Владимирович родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения АГТУ. Имеет 3 печатные работы в области термообработки сплавов и лесодеревообработки.  
Тел.: (8182) 21-89-91



Думанский Игорь Олегович родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных трудов в области термообработки сплавов, лесодеревообработки.  
Тел.: (8182) 21-89-91



## **ПОВЫШЕНИЕ УПРУГИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ**

Предложена конструкция натяжных устройств ленточнопильных станков с использованием металлических пластинчатых упругих элементов; разработан и исследован режим термообработки гофрированных пластин; определены характеристики амортизатора-демпфера натяжного устройства.

*Ключевые слова:* ленточные пилы, натяжные устройства, пластинчатые амортизаторы, режимы обработки.

Совершенствование современного лесопильно-деревообрабатывающего производства связано с применением ленточнопильных станков. Они позволяют значительно повысить производительность, выход пиломатериалов, их качество, а также автоматизировать производственные процессы. Эти станки, наряду с достоинствами, обладают и рядом недостатков, затрудняющих и удорожающих их эксплуатацию. Основными недостатками являются относительно малые устойчивость и долговечность рабочего инструмента – ленточной пилы. В значительной степени эти два параметра взаимозависимы, поскольку долговечность ленточных пил определяется, в том числе, и уровнем рабочих механических напряжений в материале пилы. Вынужденные колебания и автоколебания, связанные в воздействии на полотно пилы внешних возмущений (биение шкивов, изменение усилия резания, поперечные воздействия), приводят в существенным изменениям напряженного состояния пилы, что может снизить как долговечность, так и качество процесса пиления (изменение ширины пропила, повышение шероховатости поверхности пиломатериала, локальное изменение его размеров и др.) [8].

Одним из наиболее важных факторов, определяющих начальную жесткость, устойчивость и, как следствие, качество процесса пиления, являются сила натяжения ленточных пил и стабильность ее во времени, что определяется конструкцией и, следовательно, упругими и динамическими характеристиками натяжного устройства ленточнопильного станка. Для снижения колебаний силы натяжения в процессе пиления натяжное устройство должно обладать максимально высокой реакцией на изменение этой силы и обеспечивать ее быстрое восстановление.

При этом необходимо, чтобы натяжное устройство удовлетворяло следующим требованиям:

подвижные элементы его должны иметь минимальную массу;  
устройство должно обеспечивать необходимый уровень силы натяжения;

устройство должно обладать высокими амортизирующими свойствами, т.е. в максимальной степени сокращать, а лучше – исключать автоколебания.

Существующие конструкции [5, 6] устройств для натяжения ленточных пил (рычажно-грузовые, пружинные (на основе цилиндрических пружин), пружинно-гидравлические (на основе цилиндрических пружин и гидроамортизаторов), гидравлические, пневматические, с резиновым упругим элементом) не могут в полной мере удовлетворить приведенным выше требованиям. Известная конструкция металлического демпфера-амортизатора [2] при определенном усовершенствовании вполне может обеспечить выполнение этих требований. Конструкция представляет собой пакет гофрированных тонких (0,2...0,6 мм) металлических пластин, который может быть помещен в ванну, заполненную демпфирующей жидкостью. Установка таких амортизаторов, обладающих высокой несущей способностью и минимальной массой подвижных частей, позволяет поддерживать высокую скорость реакции на внешнее возмущение. Многочисленные гофрированные металлические пластины исключают длительный колебательный процесс (успокоение), рассеивая энергию колебаний как за счет движения демпфирующей жидкости, так и за счет эффекта внутреннего трения в материале.

Использование таких амортизаторов в качестве натяжных устройств ленточнопильных станков может быть обеспечено при условии достижения максимально высокой несущей способности их упругих элементов (пакетов пластин) при одновременном улучшении демпфирующих свойств, в том числе и за счет повышения коэффициента внутреннего трения материала гофрированных пластин. Как показал анализ литературных источников [1, 3, 4], такие характеристики материала упругих элементов могут быть получены при использовании, как правило, пружинных сталей перлитного класса. Для этого технологический процесс термической обработки гофрированных пластин должен состоять из скоростной закалки и последующего динамического старения (отпуска под нагрузкой). При скоростной закалке в процессе нагрева получают сверхмелкозернистый неоднородный аустенит, а после охлаждения – мелкокристаллический неоднородный мартенсит с высоким уровнем микронапряжений. Последующее динамическое старение

позволяет максимально использовать неравновесную мартенситную структуру и сформировать структуру трооститомартенсита или троостита (в зависимости от температуры отпуска) с особым (в поле напряжений) распределением карбидных выделений и дислокаций. Получение такого структурного состояния с требуемыми высокими упругими свойствами и повышенным внутренним трением принципиально возможно, однако режимы процесса термообработки для конкретных пружинных сталей требуют изучения.

Нами был исследован технологический процесс термообработки пружинной стали 60С2А, наиболее часто применяемой для тонколистовых пружинных элементов. Исследования проводили с использованием установок скоростного электронного нагрева [4] и динамического старения [7].

**Влияние режимов термической обработки на показатели механических свойств и коэффициент внутреннего трения стали 60С2А**

Закалка (параметры)	Температура, °С, динамического старения в течение 1 ч	Предел упругости $\delta_{0,005}$ , МПа	Релаксационная стойкость $\Delta\epsilon \cdot 10^{-5}$	Коэффициент внутреннего трения $Q \cdot 10^{-3}$
Скоростная:				
I (5000 °С/с,	200	1520	6	42
1000 °С,	300	1740	7	37
0,2 с)	400	1650	15	29
II (5000 °С/с,	200	1660	7	35
1050 °С,	300	1910	8	30
5 с)	400	1710	15	28
В печи	200	1420	15	6
( 870 °С	300	1610	22	4
5 мин)	400	1560	45	2

Режимы скоростной закалки выбраны на основании ранее проведенных исследований [4], для динамического старения ряд режимов был определен исходя из данных [3]. После цикла термообработки образцы подвергали механическим испытаниям в целях определения индекса упругости  $\delta_{0,005}$ , релаксационной стойкости  $\Delta\epsilon$  и коэффициента внутреннего трения  $Q$ . Результаты исследований приведены в таблице.

Анализ полученных данных показывает, что наилучшим с точки зрения требований к упругим элементам натяжных устройств является режим термической обработки стали 60С2А, состоящий из скоростной закалки в течение 5,0 с при температуре 1050 °С (скорость нагрева 5000 °С/с) и последующего динамического старения в течение 1 ч при температуре 300 °С.

С использованием разработанного режима термообработки был изготовлен амортизатор-демпфер для натяжного устройства ленточнопильного станка, имеющего следующие характеристики:

Статическая нагрузка.....до 20 кН  
 Статическая жесткость.....1600 кН/м  
 Собственная частота колебаний.....5 Гц

Коэффициент демпфирования(без масла).....0,2

Сравнение времени затухания при равной статической нагрузке (20 кН) для цилиндрической пружины, резинового упругого элемента и пластинчатого амортизатора-демпфера дало следующие результаты: цилиндрическая пружина – 27,0 с; резиновый упругий элемент – 17,0 с; пластинчатый амортизатор-демпфер – 3,7 с.

Полученные результаты подтверждают возможность эффективного использования предлагаемой конструкции амортизатора в качестве натяжного устройства ленточнопильных станков, обладающего высокими упругими и динамическими свойствами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах [Текст] / Бюрен Ван. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 584 с.
2. Виброизолирующая опора из металлических пластин [Текст] / Б.Ф. Орлов [и др.] //Лесн. пром-сть. – 1990. – № 10. – С. 20.
3. Динамическое старение сплавов [Текст] / А.Г. Рахштадт [и др.]. – М.: Металлургия, 1990. – 351 с.
4. Думанский, И.О. Разработка и исследование процессов термической обработки пружинных сталей перлитного класса с целью повышения уровня эксплуатационных свойств упругих элементов [Текст] / И.О. Думанский. – М.: Изд-во МГТУ, 1991. – 17 с.
5. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
6. Исследование работоспособности различных конструкций механизмов натяжения пил ленточных станков [Текст] / В.И. Веселков [и др.] // Машины и инструменты деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – Л., 1981. – С. 60–64.
7. Установка для динамического старения плоских образцов [Текст] / А.В. Прохоров [и др.] // Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза, 2008. – С. 20–21.
8. Феоктистов, А.Е. Ленточнопильные станки [Текст] / А.Е. Феоктистов. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 152 с.

Поступила 09.07.09

A.V. Prokhorov, I.O. Dumansky  
Arkhangelsk State Technical University

#### **Increase of Elastic and Deformation Characteristics of Tensioners for Bandsaw Machines**

The design of tensioners for band saw machines is offered with the use of metallic lamellar elastic elements, heat process rate for corrugated plates is developed and studied, characteristics of tensioner shock absorber-damper are determined.

Keywords: band saws, tensioners, block shock absorbers, process rates.

---

УДК 674.047

**Г.А. Баланцев, Н.Б. Баланцева**

Архангельский государственный технический университет

Баланцев Григорий Андреевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и энергетических систем АГТУ. Имеет 10 печатных работ в области численного моделирования физических процессов, электроэнергетики, сушки и обработки древесины, информационных технологий, нечетких алгоритмов.

E-mail: [limenda@mail.ru](mailto:limenda@mail.ru)

Баланцева Наталья Борисовна родилась в 1959 г., окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры электротехники и энергетических систем Архангельского государственного технического университета. Имеет около 10 печатных работ в области электроэнергетики, сушки и обработки древесины. Тел.: (8182) 68-02-41



## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ВЛАГОПЕРЕДАЧИ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Предложен численный метод расчета влажности древесины; сопоставлены результаты расчета и эксперимента.

*Ключевые слова:* сушка, древесина, расчет, влажность, теплопроводность.

Совершенствование технологии сушки древесины, проектирование лесосушильных установок и систем управления ими невозможно эффективно осуществлять без использования математических моделей процессов нагревания и влагопереноса в древесине и влагообмена с окружающей средой.

На кафедре электротехники и энергетических систем АГТУ в течение 2006–2008 гг. проводились исследования, имевшие своей целью совершенствование методов расчета влажности древесины в процессе сушки. За счет применения современных методов численного анализа предполагалось разработать математическую модель процесса сушки, позволяющую эффективно учитывать такие факторы, как анизотропность древесины, многочисленные изменения режима сушки, характерные для современных установок, различные условия внешнего влагообмена.

До настоящего времени влагоперенос в древесине в процессе сушки рассматривали на базе одномерной математической модели, полученной путем аналитического решения дифференциального уравнения в частных производных (ДУЧП), составленного по законам Фика [2]:

$$i = -D \frac{\partial U}{\partial x}; \quad \frac{\partial U}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2},$$

где  $U$  – концентрация диффундирующего вещества;

$\frac{\partial U}{\partial x}$  – градиент концентрации диффундирующего вещества по оси  $x$ ;

$i$  – поток (масса) вещества вдоль оси  $x$ , диффундирующего за единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикуляр-

ной направлению диффузии;

$D$  – коэффициент диффузии;

$\tau$  – время.

Двумерная задача, достаточно точно описывающая реальный влагоперенос в пренебрежении аксиальной составляющей, сводилась к одномерной за счет введения гидравлического радиуса, зависящего от формы и размеров сечения. Коэффициент влагопроводности при решении уравнения считался постоянным, не зависящим от условий, изменяющихся в ходе сушки. Недостаточно полно учитывался процесс влагообмена на поверхности материала. Кроме того, законы Фика не могут быть применены, если влагоперенос сопровождается фазовыми переходами.

Более точные результаты могут быть достигнуты путем решения системы ДУЧП, характеризующей влагоперенос в твердых капиллярно-пористых телах, возникающий под действием градиентов концентрации, температуры и давления [2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial \tau} = k_{11}\nabla^2 u + k_{12}\nabla^2 T + k_{13}\nabla^2 P; \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = k_{21}\nabla^2 u + k_{22}\nabla^2 T + k_{23}\nabla^2 P; \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} = k_{31}\nabla^2 u + k_{32}\nabla^2 T + k_{33}\nabla^2 P, \end{cases} \quad (1)$$

где  $u$  – концентрация влаги;

$T$  – температура вещества;

$P$  – давление.

Очевидно, что аналитическое решение системы (1) для пространственных областей с учетом граничных условий в общем виде является чрезвычайно сложным. Однако существуют численные методы, позволяющие найти приближенное решение задачи, которое с достаточной точностью описывает реальный процесс. Особенно эффективно применение численных методов с использованием ЭВМ.

Нами разработаны алгоритм и соответствующая программа, позволяющая производить расчет процессов влагопередачи в древесине и влагообмена древесины с внешней средой путем решения системы (1) без учета составляющих, относящихся к давлению, для двухмерной модели методом конечных элементов. Уравнение, определяющее распределение влагосодержания в конечном элементе двухмерной модели поперечного сечения пиломатериала в соответствии с методом Галеркина, в матричной форме имеет следующий вид:

$$[a_m^{(e)}]\{u\} = \{f_g^{(e)}\}, \quad (2)$$

где  $[a_m^{(e)}]$  – матрица жесткости конечного элемента (матрица влагопроводности);

$\{f_g^{(e)}\}$  – вектор нагрузок конечного элемента (вектор влагообмена).

Запишем матрицу жесткости:

$$[a_m^{(e)}] = \iint_A \left( a_{mx} \left[ \frac{\partial N_k}{\partial x} \right]^T \left[ \frac{\partial N_k}{\partial x} \right] + a_{my} \left[ \frac{\partial N_k}{\partial y} \right]^T \left[ \frac{\partial N_k}{\partial y} \right] \right) dA, \quad (3)$$

где  $[N]$  – однострочная матрица функций формы, аппроксимирующая распределение влаги;

$a_{mx}$  и  $a_{my}$  – коэффициент теплопроводности по осям  $x$  и  $y$ ;

$A$  – область конечного элемента.

Вектор нагрузок определим из выражения

$$\{f_g^{(e)}\} = - \int_s i_s n_s [N_k]^T ds, \quad (4)$$

где  $i$  – функция потока влаги;

$s$  – поверхность, ограничивающая конечный элемент.

Уравнения (2)–(4) представляют собой общую конечно-элементную формулировку задачи влагопереноса в древесине в двух измерениях. Граничные условия третьего рода свидетельствуют о том, что поток влаги к поверхности пиломатериала уравнивается ее испарением с поверхности. Для всех элементов, имеющих границы на поверхности пиломатериала  $S_{\text{вн}}$ , зададим условие испарения:

$$\{f_g^{(e)}\} = - \int_{S_{\text{вн}}} i_{S_{\text{вн}}} n_{S_{\text{вн}}} \{N\} dS_{\text{вн}} = - \int_{S_{\text{вн}}} (\alpha'_{U\rho_0} (u^{(e)} - u_p)) n_{S_{\text{вн}}} \{N\} dS_{\text{вн}}; \quad (5)$$

в обобщенной матричной форме (5) примет вид

$$\{f_g^{(e)}\} = - [a_u \rho_0]^{(e)} \{u\} + \{f_{a_u \rho_0 S_{\text{вн}}}^{(e)}\}. \quad (6)$$

Для обеспечения возможности проведения такого расчета данные о коэффициентах влаго-, тепло- и температуропроводности для различных пород древесины, опубликованные в [1, 5, 6], были сведены в единую систему. Некоторые зависимости, характеризующие важнейшие свойства древесины как материала, подлежащего сушке, были опубликованы исследователями в форме графиков и номограмм, непосредственное применение которых в компьютерных расчетах невозможно. К примеру, для использования данных о теплопроводности древесины, полученных в работе [1], авторам потребовалось выполнить аппроксимацию зависимостей, представленных в форме номограммы, степенным полиномом третьего порядка.

Коэффициент теплопроводности в зависимости от состояния пиломатериалов для древесины ядра в тангенциальном направлении:

$$a_{\text{тан}} = 0,235 \cdot 10^{-31} T^{10} \rho_{\text{усл}}^{-3,3}; \quad (7)$$

для древесины заболони в тангенциальном направлении:

$$a_{\text{тан}} = 0,235 \cdot 10^{-31} T^{10} \rho_{\text{усл}}^{-3,9}, \quad (8)$$

где  $T$  – температура древесины, К;

$\rho_{\text{усл}}$  – условная плотность древесины, т/м<sup>3</sup>.

Определим коэффициент влагопроводности древесины в радиальном направлении:

$$\frac{a_{\text{рад}}}{a_{\text{тан}}} = 1 + 2 \frac{V_{\text{л}}}{100}, \quad (9)$$

где  $V_{\text{л}}$  – доля объема сердцевинных лучей в общем объеме древесины, %.

Выражения для перехода от  $a_{\text{тан}}$  и  $a_{\text{рад}}$  к  $a_{\text{мх}}$  и  $a_{\text{мы}}$  в любой точке сечения пиломатериала имеют следующий вид:

$$a_{\text{мх}} = a_{\text{тан}} \cos \alpha - a_{\text{рад}} \sin \alpha; \quad (10)$$

$$a_{\text{мы}} = a_{\text{тан}} \sin \alpha - a_{\text{рад}} \cos \alpha, \quad (11)$$

где  $\alpha$  – угол наклона годичных слоев к пласти.

#### Режим опытной сушки

Порядковый номер шага	Фаза сушки	Температура сушильного агента, °С	Равновесная влажность сушильного агента, %	Продолжительность шага, ч
1	Нагрев	70	16,0	10
2	Прогрев	70	16,0	2
3	Сушка	70	11,5	10
4	Сушка	77	7,0	12
5	Сушка	77	6,0	15
6	Сушка	77	4,0	19
7	Влаготермообработка	77	16,0	3
8	Сушка	77	3,7	2
9	Охлаждение	40	–	10

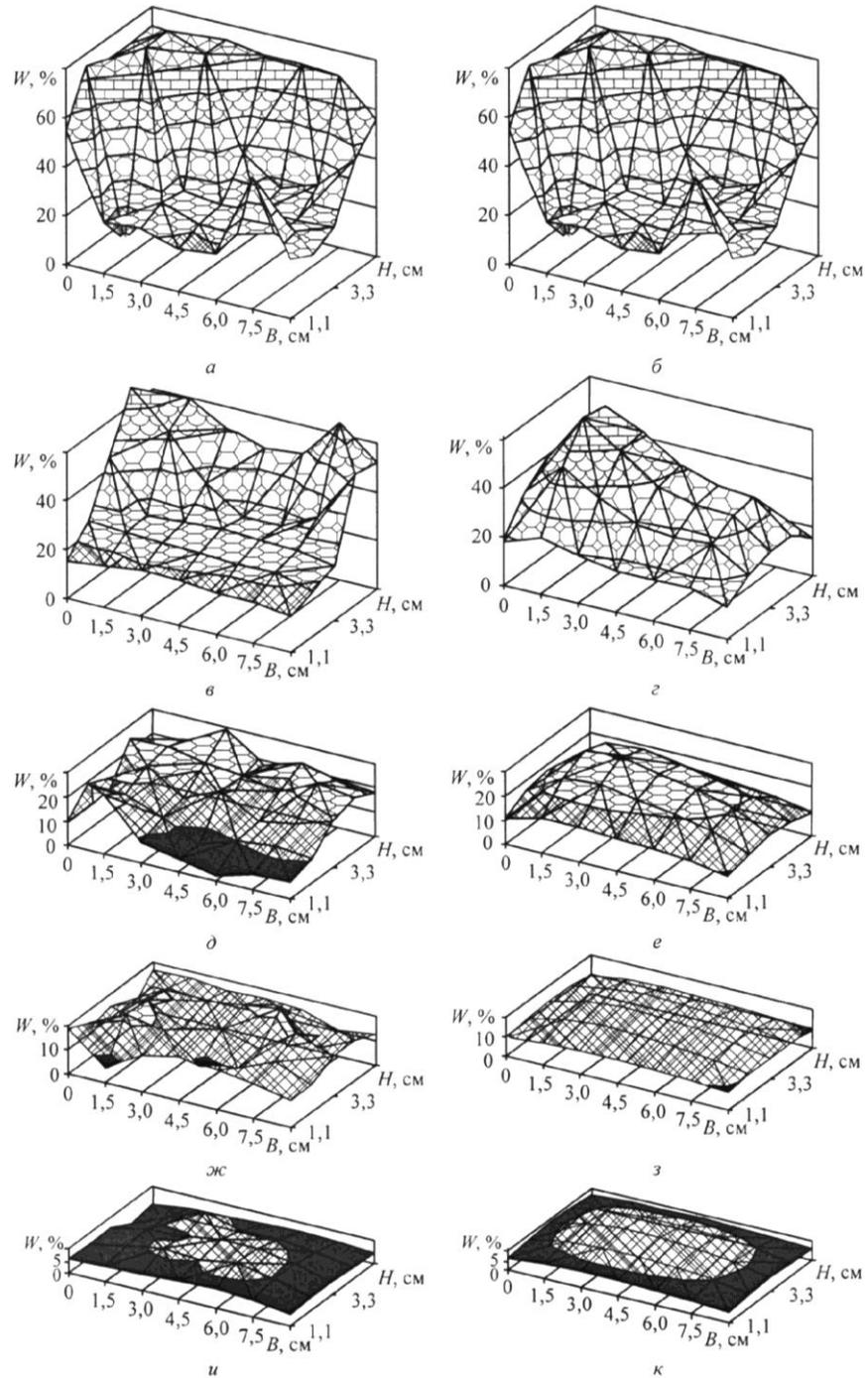
Расчетная программа позволяет для любого момента времени получить картину распределения влажности в поперечном сечении пиломатериала заданной породы древесины в процессе конвективной сушки. Расчет производится от известной начальной влажности с учетом фактического режима сушки, включающего произвольное количество ступеней. Каждая ступень режима задается температурой и равновесной влажностью сушильного агента, а также своей продолжительностью.

Для проверки метода было решено провести опытную сушку в промышленных условиях предприятия «Инфа» (г. Архангельск) на трех сушильных камерах «Nardi» периодического действия. В качестве образцов использовали сосновый пиломатериал сечением 44×90 мм с начальной относительной влажностью 40 %. Образцы выпилены из центральной части бревна, содержание заболони в них – 15...30 %.

Пиломатериал укладывали в пакеты размером 1,0×1,0 м со шпациями. В штабель, состоявший из четырех пакетов, расположенных вертикально через прокладки толщиной 100 мм, закладывали один образец [3], по

строению, плотности и влажности характерный для данной партии пиломатериалов, так, чтобы в дальнейшем его можно было извлечь. Сушку производили по режиму, представленному в таблице.

В ходе сушки 1 раз в сутки, а также перед началом и после ее окончания образцы извлекали, из них выпиливали секции длиной 10 мм. Выпиленную секцию раскалывали на фрагменты размером 9×13 мм, каждый фрагмент маркировали. Затем определяли его массу. Маркированные и взвешенные фрагменты высушивали в сушильном шкафу, после чего их повторно взвешивали. По результатам измерений определяли относительную влажность каждого фрагмента. В ходе эксперимента нами проведено по одной опытной сушке в каждой из трех сушильных камер предприятия.



Фактические (а, в, д, ж, и) и расчетные (б, г, е, з, к) диаграммы распределения влаги в поперечном сечении пиломатериала в процессе сушки:  
 ■ – 0...10 %; ▨ – 10...20 %; ▩ – 20...30 %; ▪ – 30...40 %; ▫ – 40...50 %;  
 ▬ – 50...60 %; ▭ – 60...70 %; ▮ – 70...80 %

Для сопоставления результатов расчета пространство задачи в математической модели было разбито на виртуальные фрагменты аналогичных размеров. Начальное распределение влаги в модели пиломатериала было задано таким же, как и в опытном образце. Для времени, соответствующего моменту извлечения образцов из сушильной камеры, производили интегрирование функции содержания влаги по всему объему виртуального фрагмента, после чего определяли его среднюю относительную влажность.

На рисунке приведено сопоставление результатов расчета и эксперимента. В левой части представлены диаграммы распределения влажности, зафиксированные в ходе эксперимента, в правой – соответствующие им расчетные диаграммы, построенные для того же момента времени (*a, б* – в момент начала сушки; *в, г* – через 24 ч; *д, е* – через 48 ч; *ж, з* – через 72 ч; *и, к* – после извлечения из камеры). Приведенные диаграммы свидетельствуют о том, что характер фактического распределения влажности соответствует результатам, полученным на математической модели процесса. Относительная погрешность расчетных данных составила не более 5 %.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об адекватности расчетной методики, разработанной авторами, задачам вычисления распределения влажности древесины в процессе сушки.

Результаты расчета средней влажности с использованием разработанной программы были сопоставлены с решением, полученным исходя из предложенного П.С. Серговским [5] уравнения для аппроксимации кривой скорости сушки:

$$\frac{du}{d\tau} = - \frac{2}{S \left( \frac{1}{\beta} + \frac{2S}{\pi^2 a_m} \right)} (u - u_p). \quad (12)$$

Погрешность расчета средней влажности и построения кривой сушки по разработанной авторами методике составила 2 %, что в 3–4 раза ниже, чем по выражению (12).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кантер, К.Р. Исследование тепловых свойств древесины [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / К.Р. Кантер. – М.: МЛТИ, 1955.
2. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков. – М., 1968. – 472 с.
3. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов [Текст]. – Архангельск: ОАО «Научдревпром-ЦНИИМОД», 2000. – 125 с.
4. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка древесины [Текст] / П.С. Серговский. – М., 1958. – 440 с.
5. Серговский, П.С. Расчет процессов высыхания и увлажнения древесины [Текст] / П.С. Серговский. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 78 с.
6. Шубин, Г.С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины [Текст] / Г.С. Шубин. – М., 1973. – 248 с.

Поступила 28.08.09

---

*G.A. Balantsev, N.B. Balantseva*  
Arkhangelsk State Technical University

**Development of Computation Methods for Moisture Transfer in Wood Drying**

The numerical method of wood humidity computation is offered, the results of computation and experiment are compared.

Keywords: drying, wood, computation, humidity, moisture conductivity.

---

УДК 674.093

**А.Е. Алексеев, В.П. Емельянов, Н.И. Маркин**

Архангельский государственный технический университет

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 180 научных трудов в области лесопиления.

Тел.: (8182) 21-61-63



Емельянов Владимир Павлович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, декан факультета промышленной энергетики Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы. Имеет более 80 печатных работ в области электромеханики и электропривода.

Тел.: (8182) 21-61-79



Маркин Николай Иванович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Ленинградский институт авиационного приборостроения, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области автоматизации технологических процессов и линейного электропривода в лесопромышленном комплексе.

Тел.: (8182) 21- 89 -36



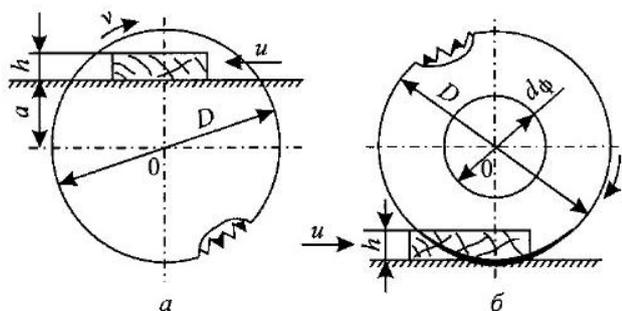
## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗЛА РЕЗАНИЯ МАЯТНИКОВОГО ТОРЦОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА С ЛИНЕЙНЫМ ПРИВОДОМ

Определены технологические параметры торцовочного устройства с приводом главного движения от цилиндрического асинхронного линейного электродвигателя и процесса торцевания пиломатериалов.

Ключевые слова: торцовочный станок, линейный привод, маятниковая схема.

Для повышения эффективности работы узла резания маятникового торцовочного устройства нами предложено применять линейный асинхронный электропривод.

Рис. 1. Функциональная схема круглопильного станка для поперечной распиловки древесины с нижним (а) и верхним (б) расположением пилы



Функциональная схема процесса торцевания на однопильном круглопильном торцовочном устройстве для поперечной распиловки пиломатериалов приведена на рис. 1. Пила закрепляется на пильном валу и вращается с постоянной скоростью главного движения  $v$ . Распиливаемая заготовка базируется на столе или на суппорте, каретке, конвейере. В случае неподвижности заготовки движение подачи осуществляется пилой с постоянной скоростью подачи  $u$  (рис. 1, б). Угол перерезания волокон при поперечной распиловке древесины  $\psi = 90^\circ$ .

Расчет кинематических параметров устройства производят аналогично продольной распиловке (рис. 2, а). Пила 3 вращается с постоянной скоростью главного движения  $v$ . Распиливаемая заготовка 1 перемещается подающими вальцами 2 (в некоторых станках конвейером) по столу 4. В результате сложения этих двух движений траектория резания представляет собой циклоиду.

Ввиду того, что скорость главного движения в несколько десятков раз больше скорости подачи, то ее и принимают за скорость резания. Угол между направлениями векторов скоростей резания и подачи – кинематический угол встречи  $\theta$ , он же является и углом перерезания волокон древесины  $\psi$ . Эти углы изменяются в пределах от  $\theta_{\text{вх}}$  (угол входа зуба пилы в древесину) до  $\theta_{\text{вых}}$  (угол выхода зуба из пропила). В расчетах используют средние значения углов  $\theta_{\text{ср}}$  и  $\psi_{\text{ср}}$ .

Функциональная схема круглопильного станка для продольной распиловки древесины с верхним расположением пилы приведена на рис. 2, б. При распиловке лесоматериалы в станке базируются и перемещаются, как правило, гусеницей. Для обеспечения пропила на всю толщину заготовки зубья пилы специальным конструктивным решением выведены из пропила на 5...10 мм.

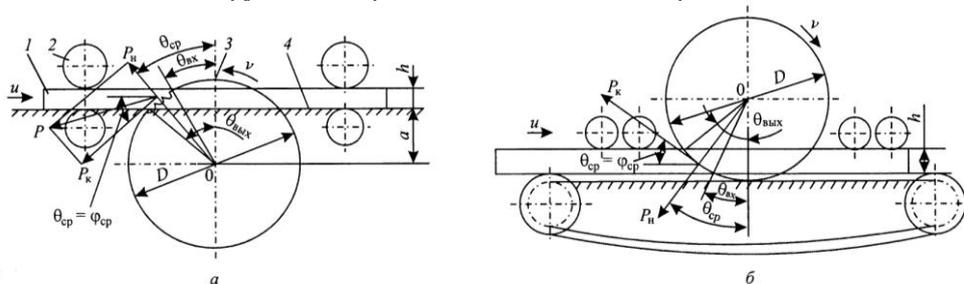


Рис. 2. Функциональная схема круглопильного станка для продольной распиловки древесины с нижним (а) и верхним (б) расположением пилы  
дачи совпадает по направлению с вектором скорости резания.

Расчеты кинематических параметров, силы и мощности резания во всех случаях идентичны и сводятся к следующему [2, 5, 7, 8].

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр пилы, мм;

$n$  – частота вращения пилы,  $\text{мин}^{-1}$ .

Подача на зуб

$$u_z = \frac{u \cdot 1000}{zn}, \quad (2)$$

где  $u$  – скорость подачи, м/мин;

$z$  – число зубьев на пиле, шт.

Кинематический угол встречи на выходе зубьев пилы из материала

$$\theta_{\text{вых}} = \arccos \frac{a}{D/2}, \quad (3)$$

где  $a$  – расстояние от оси вращения пилы до поверхности стола, мм.

Кинематический угол встречи на входе зубьев в пропила

$$\theta_{\text{вх}} = \arccos \frac{a+h}{D/2}. \quad (4)$$

где  $h$  – толщина распиливаемого материала, мм.

Средний кинематический угол встречи, как и средний угол перерезания волокон древесины,

$$\theta_{\text{ср}} = \psi_{\text{ср}} = \frac{\theta_{\text{вх}} + \theta_{\text{вых}}}{2}. \quad (5)$$

Средняя толщина стружки при пилении пилами:

с плющенными зубьями, наплавкой и пластинками из твердого сплава

$$e_{\text{ср}\Delta} = u_z \sin \theta_{\text{ср}}; \quad (6)$$

с разведенными зубьями

$$e_{\text{ср}\Delta} = u_z \frac{b}{s} \sin \theta_{\text{ср}}, \quad (7)$$

где  $b = s + 2s_0$  – ширина пропила, мм;

$s$  – толщина пилы, мм;

$s_0$  – уширение зубьев пилы на сторону, мм.

Касательная составляющая силы резания

$$P_{\text{к}} = \frac{kbhiu}{60v_{\text{ср}}}, \quad (8)$$

где  $k$  – удельное сопротивление резанию, МПа,

$$k = a_{\text{п}} a_{\text{в}} a_{\text{в}} (k_{\text{п}} + k_{\text{з}} + k_{\text{тр}}); \quad (9)$$

$a_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий породу распиливаемой древесины: для липы, ели, сосны, лиственницы, березы, бука, дуба и ясеня соответственно равен 0,80; 0,90; 1,00; 1,15; 1,25; 1,40; 1,55; 1,70;

$a_{\text{в}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влажность  $W$  распиливаемой древесины: при  $W = 8 \dots 12$ ;  $18 \dots 22$ ;  $25 \dots 30$ ;  $50 \dots 70^*$ ;  $> 70^*$  % соответственно равен 1,00; 1,07; 1,08; 1,13; 1,19;

\* Для мерзлой древесины  $a_{\text{в}} = 1,5$ .

\*\* При  $v < 50$  м/с в формулу (10) вместо  $v$  подставляют  $(90 - v)$ .

$a_b$  – поправочный коэффициент, учитывающий схему пиления: встречное пиление  $a_b = 1,0$ ; попутное – 1,1;  
 $k_{п}, k_3, k_{тр}$  – удельное сопротивление резанию по передней и задней грани зубьев пилы, МПа, и от трения опилок о стенки пропила, Н/мм<sup>2</sup>;  
 $i$  – количество пил, участвующих в резании, шт.

Удельное сопротивление резанию, МПа, при средней толщине стружки  $e_{cp} > 0,1$  мм:

по передней грани зубьев пилы

$$k_{п} = (0,196 + 0,00392 \theta_{cp})\delta + (0,0686 + 0,00147 \theta_{cp})v^{**} - (5,4 + 0,167 \theta_{cp}), \quad (10)$$

где  $\delta$  – угол резания;

по задней грани зубьев пилы

$$k_3 = \frac{a_p p}{e_{cp}}, \quad (11)$$

где  $a_p$  – коэффициент, учитывающий затупление зубьев пилы,

$$a_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0}; \quad (12)$$

$\Delta\rho$  – приращение радиуса затупления зубьев за время их работы, мкм,

$$\Delta\rho = \frac{A\check{e}nT}{1000}; \quad (13)$$

$A$  – приращение радиуса затупления главной режущей кромки за 1 м пути резания: при пилении хвойных и мягколиственных пород древесины  $A = 0,001$  мкм/м; для твердолиственных пород  $A = 0,0013$  мкм/м;

$\check{e}$  – длина дуги резания, мм,

$$\check{e} = \frac{h}{\sin \theta_{cp}}; \quad (14)$$

$T$  – продолжительность непрерывной работы станка, мин;

$\rho_0$  – начальный радиус закругления главной режущей кромки после заточки,  $\rho_0 = 10$  мкм;

$p$  – фиктивная удельная сила резания по задней грани зубьев пилы,

$$p = 3,92 + 0,0353\theta_{cp}.$$

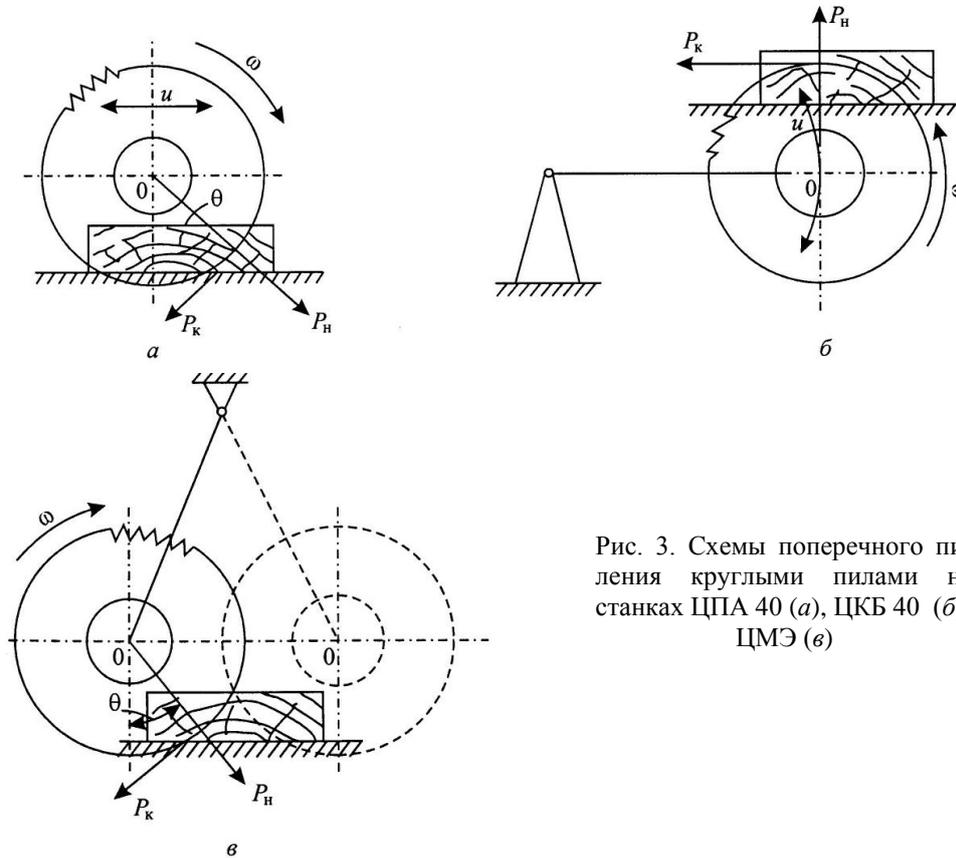


Рис. 3. Схемы поперечного пиления круглыми пилами на станках ЦПА 40 (а), ЦКБ 40 (б), ЦМЭ (в)

Удельное сопротивление от трения опилок о стенки пропила, Н/мм<sup>2</sup>,

$$k_{т.п.} = \frac{\alpha h}{b}, \quad (15)$$

где  $\alpha$  – интенсивность трения опилок о стенки пропила: при пилении пилами с плющеными зубьями  $\alpha_{\Delta} = 0,57$  МПа, с разведенными зубьями  $\alpha_{\wedge} = 0,71$  МПа.

При срезании микростружки ( $e_{ср} < 0,1$  мм)

$$k_M = k_{п.м} + k_{з.м} + k_{т.п.}; \quad (16)$$

$$k_{п.м} = k_{п.} + k_{з.м} + k_{т.п.}; \quad (17)$$

$$k_{з.м} = \frac{(a_p - 0,8)p}{e_m}. \quad (18)$$

Потребная мощность электродвигателя механизма резания, кВт,

$$N = \frac{P_k v}{1000\eta}, \quad (19)$$

где  $\eta$  – КПД привода: для встроенного электропривода  $\eta = 0,9$ ; с ременной передачей  $\eta = 0,8$ .

Схемы приложения сил при поперечном пилении пиломатериалов круглыми пилами на станках ЦПА 40, ЦКБ 40 и ЦМЭ приведены на рис. 3.

В случае маятникового исполнения узла резания торцовочного станка (рис. 3, б, в) расчет силы резания сводится к следующему.

Касательная составляющая силы резания

$$P_k = \frac{k b h u}{60 v}, \quad (20)$$

где  $k$  – удельная сила резания, МПа,

$$k = a_n a_w (k_n + k_3). \quad (21)$$

При  $e_{cp} > 0,1$  мм

$$k_n = 62 - 14b + (0,42 - 0,006\gamma)\varphi, \quad (22)$$

где  $b \leq 3,5$  мм;

$\gamma$  – передний угол,  $\gamma = 90 - \delta$ ;

$\varphi$  – угол боковой заточки в теле резца,  $\varphi = 45 \dots 80^\circ$ .

Удельное сопротивление резанию по задней грани зубьев пилы определяют по формуле (11), где  $a_p$  и  $e_{cp}$  – рассчитывают по формулам продольного пиления;  $p = 1,0$  Н/м.

Расчет мощности резания, построение графика стружкообразования и его анализ осуществляют аналогично продольной распиловке круглыми пилами.

Цилиндрический линейный асинхронный двигатель (ЦЛАД) позволяет исключить применение промышленных механических передач и таким образом повысить энергетическую эффективность привода. ЦЛАД состоит из индуктора с ферромагнитным стержнем. Обмотка создает бегущее со скоростью  $v_1 = 2 \tau f_1$  магнитное поле, наводящее ЭДС во вторичном элементе. Под действием ЭДС появляется ток, при взаимодействии которого с магнитным полем и возникает тяговое усилие, обуславливающее движение вторичного элемента, соединенного с исполнительным механизмом и приводящего его в движение.

Обоснование параметров узла резания торцовочного устройства с линейным электроприводом при возвратно-поступательном движении суппорта дано в работах [1, 4].

При маятниковом исполнении рычажного механизма привода перемещения узла резания круглопильного торцовочного станка (рис. 4) необходимо согласование энергетических параметров процесса торцевания с параметрами линейного электропривода. В общем случае при расчете параметров движения

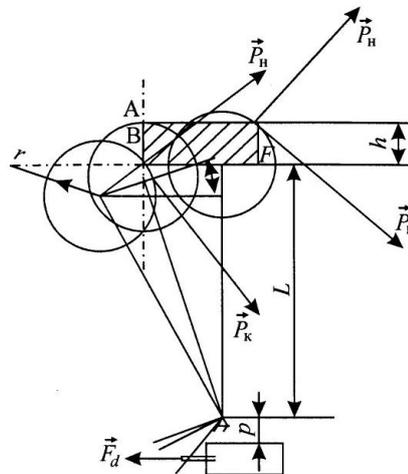


Рис. 4. Расчетная схема рычажного механизма привода перемещения узла резания круглопильного торцовочного станка: А – точка входа зуба пилы в древесину; В – точка выхода зуба из древесины;  $h$  – высота пропила (толщина доски), мм;  $r$  – радиус пилы, мм

вторичного элемента ЦЛАД [3, 6] предполагается, что его перемещению препятствует сила  $F_d$ . Расстояние  $L$  выбирают исходя из технологических и конструктивных соображений, условий размещения стола, высоты обслуживаемого оборудования, расстояния перемещения пилы и т. д.

Для построения графика зависимости угла резания от угла отклонения рычага (рис. 5) определяли следующие параметры: расстояние от правой и левой кромок доски до вертикальной оси симметрии при длине рычага  $L$  до оси вращения; углы отклонения рычага в разные моменты пиления (когда угол входа пилы приходится на левую кромку доски, а угол выхода – на нижнюю плоть доски; когда угол входа пилы приходится на верхнюю плоть доски, а угол выхода – на нижнюю плоть доски; когда угол входа пилы приходится на верхнюю плоть доски, а угол выхода – на правую кромку доски). Для расчета общей зависимости угла резания от угла отклонения рычага определяли углы его отклонения в граничных (А, В, F) точках: 24°, 14°, 6°.

При решении дифференциального уравнения движения вторичного элемента ЦЛАД выражали угол  $\beta$  отклонения рычага через перемещение вторичного элемента с учетом угла изгиба рычага.

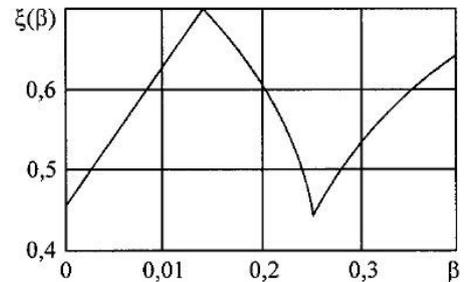
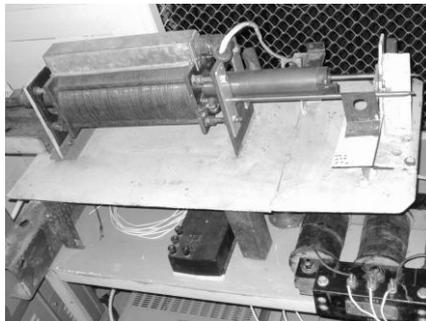
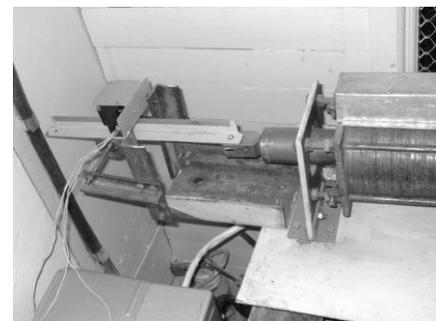


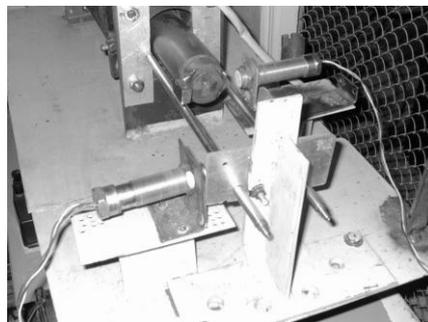
Рис. 5. Изменение угла резания от угла отклонения рычага



а



б



в

Рис. 6. Экспериментальная установка (электропозиционер): а – ЦЛАД; б – устройство измерения перемещения и скорости перемещения штока; в – оптические датчики

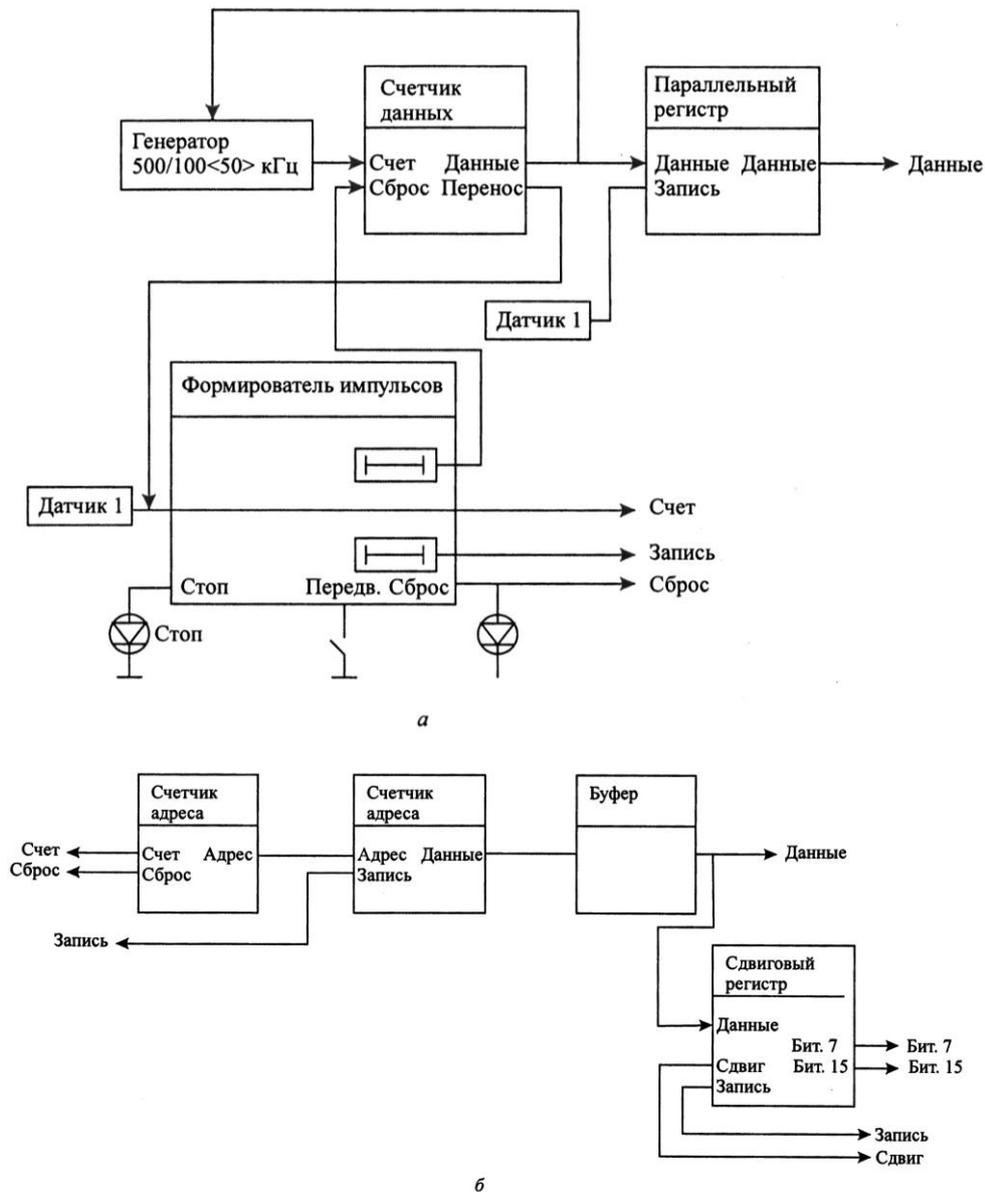


Рис. 7. Структурные схемы блока измерения скорости перемещения вторичного элемента (а) и блока памяти (б) ЦЛАД

Экспериментальная установка приведена на рис. 6, структурные схемы блоков измерения скорости перемещения вторичного элемента электропозicionера и блока памяти – на рис. 7.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Измерение скорости производят с помощью оптического датчика, вырабатывающего

прямоугольные импульсы с периодом, пропорциональным скорости движения. Вместе с штоком движется и гребенчатая металлическая рейка (рис. 8) с шириной пропила и зуба по 1 мм. Двухканальный оптический датчик закреплен неподвижно и представляет собой светодиод, два фотодиода и два триггера Шмитта для формирования прямоугольных импульсов. Гребенчатая рейка свободно перемещается в зазоре между свето- и фотодиодами. Таким образом, с выхода оптического датчика поступают импульсы с частотой, пропорциональной скорости движения гребенчатой рейки. В этом и состоит основной принцип работы схемы – измерение длительности поступающих импульсов. При скорости движения 5 м/с период поступающих импульсов составляет 0,4 мс.

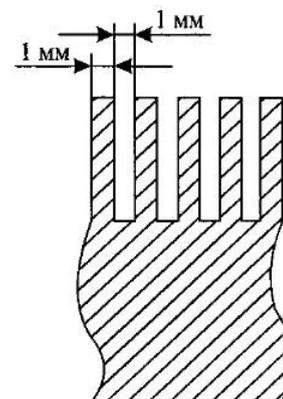


Рис. 8. Гребенчатая рейка

Используя второй канал оптического датчика, смещенного относительно первого канала на угол  $90^\circ$ , можно определить направление движения гребенчатой рейки.

В блоке памяти используются шестнадцатиразрядная схема включения двух восьмиразрядных микросхем ОЗУ К537РУ10 и сдвиговый регистр для последовательного доступа к записанным данным. Основные части блока: счетчик адреса, ОЗУ (две микросхемы К537РУ10), буфер шины данных, сдвиговой регистр с двумя выходными линиями. Блок памяти является блоком последовательного доступа, т.е. к произвольной ячейке памяти можно получить доступ, лишь считав данные из всех предыдущих. Последовательный доступ обусловлен наличием счетчика адреса. Счетчик адреса формулирует адрес ячейки памяти, к которой будет произведен доступ для записи или чтения. Подача импульса на вход счетчика адреса увеличивает его значение на единицу, подача импульса на вход сброса адреса обнуляет его значение.

Выбор действия (запись/чтение) производится сигналом «Запись», подаваемым на ОЗУ и буфер. Этот сигнал определяет направление передачи данных. При записи данных из блока измерения данные о скорости записываются параллельно в блок ОЗУ по 16-разрядной шине данных, что обеспечивает высокую скорость записи. Считывание не требует высокой скорости. Поэтому для простоты считывания 16-разрядных данных используют параллельный порт компьютера, который вырабатывает сигналы сброса и счета для счетчика адреса, а также сигналы записи в сдвиговой регистр 16-разрядных данных и их последовательного сдвига. Считывание происходит по два бита – одновременно считываются два старших бита младшего и старшего байтов.

Программное обеспечение включает программы считывания данных из блока ОЗУ и записи их в файл данных; вывода данных из блока ОЗУ на экран монитора и в структурированный файл; построения графиков скорости по результатам теоретических (для холостого хода и нагрузок 2,5; 5,0; 8,5 кг) и экспериментальных исследований.

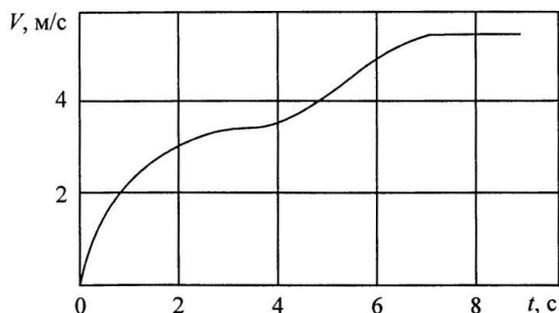


Рис. 9. График скорости движения вторичного элемента линейного асинхронного двигателя

С помощью разработанного измерительного устройства были определены скоростные характеристики ЦЛАД, которые могут быть применены для построения механических характеристик. График скорости движения вторичного элемента ЦЛАД приведен на рис. 9.

Таким образом, полученные нами результаты могут быть использованы при разработке систем позиционирования и слежения исполнительного механизма маятникового торцовочного станка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, А.Е.* Исследование привода механизма перемещения узла резания однопильного торцовочного станка [Текст] / А.Е. Алексеев, В.М. Волков, С.В. Петухов // Лесн. журн. – 2006. – № 5. – С. 90–95. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Бершадский, А.Л.* Справочник по расчету режимов резания древесины [Текст] / А.Л. Бершадский. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 125 с.
3. *Веселовский, О.Н.* Линейные асинхронные двигатели [Текст] / О.Н. Веселовский. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
4. *Петухов, С.В.* Обоснование технологических параметров механизма перемещения узла резания торцовочного станка [Текст] / С.В. Петухов // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 92–97. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Санев, В.И.* Обработка древесины круглыми пилами [Текст] / В.И. Санев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 323 с.
6. *Соколов, М.М.* Электропривод с линейными асинхронными двигателями [Текст] / М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. – М.: Энергия, 1974. – 136 с.
7. *Стахийев, Ю.М.* Работоспособность плоских круглых пил [Текст] / Ю.М. Стахийев. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 384 с.
8. *Якунин, Н.К.* Круглые пилы и их эксплуатация [Текст] / Н.К. Якунин. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 200 с.

Поступила 02.12.08

---

*A.E. Alekseev, V.P. Emelyanov, N.I. Markin*  
Arkhangelsk State Technical University

**Substantiation of Cutting Unit Parameters for Swinging Trimming Device with Linear Drive**

Process parameters are determined for trimming device with main motion drive from cylindrical asynchronous linear electric drive and sawn timber trimming process.

Keywords: trimming machine, linear drive, swinging scheme.

---

*A.E. Alekseev, V.P. Emelyanov, N.I. Markin*  
УДК 630.812

***В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева***

Сибирский государственный технологический университет

Курицын Виктор Николаевич родился в 1931 г., окончил в 1954 г. Сибирский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесозаготовок Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 научных трудов в области резания древесины и технологии лесозаготовок.

Служебный адрес: 660000 г. Красноярск, ул. Мира 82



Тюленева Евгения Михайловна родилась в 1981 г., окончила в 2003 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры технологии и оборудования лесозаготовок СибГТУ. Имеет около 10 научных работ в области изучения реологических свойств древесины.

Тел.: 89082039350



## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УТОЧНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДРЕВЕСИНЫ**

При проведении экспериментов по сжатию древесины в радиальном направлении выявлено наличие мгновенных необратимых деформаций, находящихся в линейной зависимости от величины приложенной нагрузки. Предложена реологическая модель древесины как упругопластично-эластического тела.

*Ключевые слова:* древесина, реология, упругость, эластичность, вязкость, пластичность, реологическое уравнение.

Древесина имеет очень сложное анатомическое строение и относится к разряду волокнисто-слоисто-пористых анизотропных материалов. Это обуславливает большую изменчивость ее физико-механических свойств относительно осей симметрии. Причем эти свойства не строго зафиксированы, а зависят от многих внешних факторов, прежде всего от температуры, влажности и времени (процесс естественного старения). Существенно влияет на сопротивляемость древесины внешним физическим нагрузкам не только величина силы, но и скорость ее приложения. При различных скоростях нагружения древесина имеет разную прочность. Это свойство приближает ее к полимерам (практически древесина – естественный полимер), поведение которых под нагрузкой изучает реология.

С точки зрения реологии древесина изучена недостаточно, пока не существует ее точной реологической модели. На основании исследований большинство ученых считают (с достаточной для практики точностью) древесину упругоэластическим материалом, некоторые называют ее упруго-

пластическим телом. Уже одно это говорит об отсутствии единого мнения, так как эластичность и пластичность разные понятия.

Чтобы избежать недоразумений, необходимо четко сформулировать, что понимается под деформативными свойствами материалов.

*Упругость* – способность тела под действием нагрузки мгновенно деформироваться, а при ее снятии – мгновенно восстанавливать свои размеры. Реологической моделью упругости является тело Гука.

*Вязкость* – способность тела под действием нагрузки непрерывно деформироваться. При снятии нагрузки деформация прекращается и тело фиксируется в достигнутом состоянии. Реологической моделью вязкости является тело Ньютона.

*Эластичность* – под действием нагрузки деформации медленно растут во времени, а при ее снятии также медленно полностью восстанавливаются. Реологической моделью эластичности является тело Кельвина (параллельное соединение тел Гука и Ньютона).

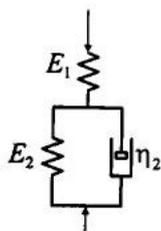
*Пластичность* – способность тела необратимо деформироваться под действием нагрузки, причем эти деформации не развиваются во времени, а их величина зависит только от величины нагрузки.

Практически все природные материалы под воздействием нагрузки проявляют все эти деформативные свойства, только в разных соотношениях. Одни деформации превалируют, другие могут быть исчезающе малы. Например, стекло, будучи упругим материалом, проявляет вязкие свойства. Но чтобы их заметить, нужны столетия.

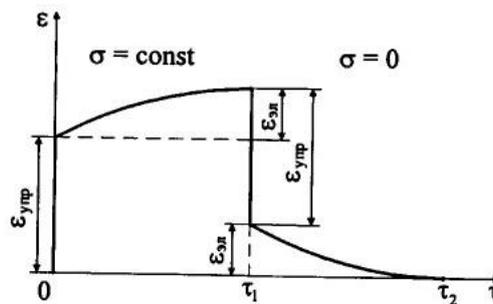
Большинство ученых в настоящее время считает древесину упруго-эластическим телом. Реологической моделью идеального упруго-эластического тела является последовательное соединение тел Гука и Кельвина (рис. 1, а).

Поведение идеального упругоэластического тела под нагрузкой показано на рис. 1, б. При мгновенном приложении внешней нагрузки тело приобретает мгновенную упругую деформацию  $\epsilon_{\text{упр}}$ . С течением времени  $\tau$  за счет эластичности деформация тела увеличивается с постепенным приближением к какому-то пределу. При снятии нагрузки тело мгновенно восстанавливает свои упругие деформации, а по истечении такого же периода времени, как при нахождении под нагрузкой, полностью восстанавливаются эла-

сти-  
де-  
ма-  
Тело  
вра-  
в  
ное  
ние.



а



б

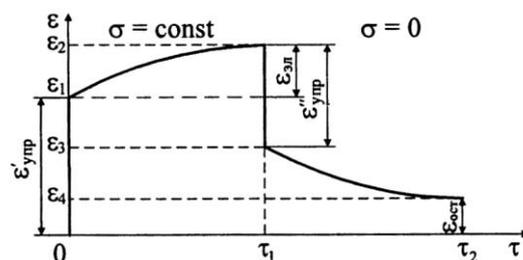
Рис. 1. Зависимость деформации  $\varepsilon$  идеального упругоэластического тела от нагрузки во времени  $\tau$ : *a* – схема соединения, *b* – поведение тела под нагрузкой ( $E_1, E_2$  – модули упругости первого и второго рода;  $\eta_2$  – коэффициент эластичности;  $\sigma$  – напряжение от нагрузки;  $\tau_2 = 2\tau_1$ )

Однако реальная древесина ведет себя иначе: после снятия нагрузки и временной выдержки деформации не возвращаются в исходное состояние. Чтобы подтвердить это и оценить количественно, нами была проделана серия опытов по сжатию древесины поперек волокон. Этот вид сжатия был выбран из следующих соображений. Во-первых, сжатие поперек волокон из всех видов нагружений наиболее деформативно (например, условный предел прочности древесины сосны при сжатии поперек волокон составляет 3,4 МПа, а вдоль волокон – 41,5 МПа), и реологические процессы более явно проявляются. Во-вторых, этот вид деформации превалирует во всех видах механической обработки древесины. В-третьих, прессование как цельной древесины, так и древесных пластиков происходит в направлении поперек волокон.

Обычно испытания древесины на сжатие поперек волокон производят на стандартных образцах  $2 \times 2 \times 3$  см, в нашем эксперименте использованы образцы размером  $1 \times 1 \times 1$  см, которые более деформативны и позволяют получить большие напряжения при сравнительно небольших нагрузках.

Испытанию подвергались образцы сосны, ели, лиственницы и березы. Во всех случаях картина выглядит следующим образом (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость деформации древесины от нагрузки во времени ( $\tau_2 = 2\tau_1$ )



После снятия нагрузки и временной выдержки, равной времени нагружения, размеры образца не возвращаются в исходное положение, а на-

блюдаются остаточные деформации  $\varepsilon_{\text{ост}}$ . Это явление находит объяснение в предположении, что реологические свойства древесины описываются моделью тела Бюргерса. Эта модель отличается от модели упругоэластического тела последовательным добавлением элемента Ньютона, описывающего вязкость. Вязкие деформации определяются по формуле

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{\sigma \tau}{\eta_1}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжение;

$\tau$  – время действия нагрузки;

$\eta_1$  – коэффициент вязкости.

Как видно из формулы (1), при бесконечно большом времени воздействия нагрузки будет и бесконечно большая деформация, что в приложении к древесине явный абсурд, поэтому дальнейшее рассмотрение варианта с использованием тела Бюргерса было прекращено [1].

С другой стороны, величина упругой деформации при нагружении  $\varepsilon'_{\text{упр}}$  (рис. 2) во всех опытах больше упругой деформации при разгрузке  $\varepsilon''_{\text{упр}}$ . Следовательно, пока образец находится под нагрузкой, в нем, кроме эластических, развиваются какие-то необратимые деформации. Чтобы определить время их развития, были поставлены специальные опыты с продолжительностью воздействия нагрузки (и последующей разгрузки) от 1 до 7 сут. на образцах из древесины сосны и березы. Всего было проведено 25 экспериментов. В результате было установлено, что величина остаточной деформации не зависит от продолжительности опыта.

Чтобы полностью устранить влияние эластических деформаций, нами был проведен дополнительный эксперимент длительностью нагружения (разгрузки) всего 5 мин. Результат остался тем же: остаточная деформация была такая же, как и при 7-суточном нагружении, т.е. при нагружении в древесине одновременно с упругими возникают мгновенные необратимые деформации. Разница между  $\varepsilon'_{\text{упр}}$  и  $\varepsilon''_{\text{упр}}$  (рис. 2) и есть мгновенная пластическая деформация.

Была поставлена еще одна серия опытов на образцах древесины сосны с 5-минутным нагружением (разгрузением), но с различной величиной нагрузки: 8, 16, 24, 32 и 40 кг. Наблюдается явно прямолинейная зависимость, которую можно записать в общем виде:

$$\sigma = E_3 \varepsilon_{\text{п}} \quad (2)$$

где:  $\varepsilon_{\text{п}}$  – относительная пластическая деформация;

$E_3$  – коэффициент пропорциональности.

Мы предлагаем назвать  $E_3$  модулем пластической деформации. Его величина зависит от прилагаемого напряжения и в рассматриваемом диапазоне составляет 268 500 кПа.

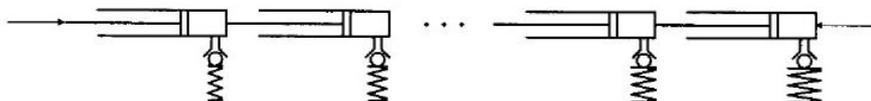


Рис. 3. Механическая модель мгновенной пластичности

Смысловая сторона описываемого явления, на наш взгляд, заключается в следующем. Элементы внутреннего строения древесины не равнопрочны – есть крупные клетки с тонкими стенками, есть маленькие клетки с толстыми стенками, есть огромное количество промежуточных, т.е. у каждого элемента имеется свой предел прочности. При нагружении определенной силой необратимо деформируются те элементы, предел прочности которых равен приложенному напряжению, а остальные продолжают держать нагрузку. С ее увеличением необратимо деформируется еще некоторое количество элементов и так далее, до полного разрушения образца. Для объяснения найденного явления напрашивается аналогия с телом Сен-Венана, с помощью которого иногда описывают внутреннее трение. Но тело Сен-Венана, стронувшись с места под действием силы, продолжает равноускоренное движение, так как коэффициент трения движения меньше коэффициента трения покоя. У нас же наоборот – сдеформировавшись под действием силы, тело фиксируется в этом состоянии, а не продолжает деформироваться.

Более удачна другая механическая модель – бесконечное множество последовательно расположенных гидроцилиндров с шариковыми клапанами, подпертыми пружинами различной жесткости (рис. 3). С приложением внешнего напряжения срабатывают только те клапаны, которые отрегулированы на меньшее давление; жидкость выдавливается из соответствующих цилиндров (т.е. реальное тело деформируется необратимо на некоторую величину). Для последующих деформаций требуется приложение больших напряжений.

Реологические процессы в древесине, на наш взгляд [2–4], происходят следующим образом. При мгновенном нагружении постоянной силой одновременно возникают упругие  $\varepsilon_y$  и пластические  $\varepsilon_n$  деформации. С течением времени развиваются эластические  $\varepsilon_s$  деформации. При снятии нагрузки упругие деформации восстанавливаются быстро, эластические – через какое-то время. Процесс восстановления происходит медленнее, чем при нагружении, поэтому по истечении времени, равного времени нагружения, эластические деформации не успевают полностью восстановиться. Остается еще какая-то величина, которую предлагаем называть запаздывающими эластическими деформациями  $\varepsilon_s$ .

Суммарная деформация древесины от нагрузки

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_n + \varepsilon_s. \quad (3)$$

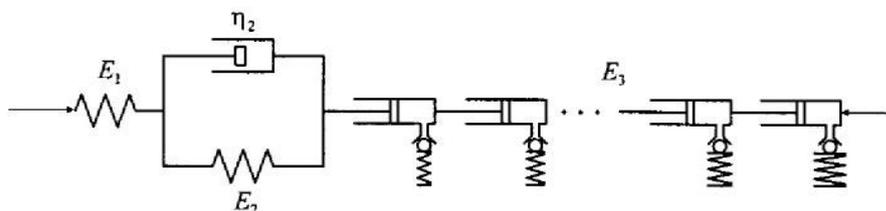


Рис. 4. Реологическая модель древесины

$$\text{Здесь } \varepsilon_3 = \frac{\sigma}{E_2} \left( 1 - e^{-\frac{E_2 \tau}{\eta_2}} \right);$$

$E_2$  – модуль упругости второго рода;

$\eta_2$  – коэффициент эластичности.

Таким образом, реологическое уравнение древесины

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_3} + \frac{\sigma}{E_2} \left( 1 - e^{-\frac{E_2 \tau}{\eta_2}} \right). \quad (4)$$

Предлагаемая нами реологическая модель древесины показана на рис. 4.

Следует отметить, что все изложенные выше соображения и выводы справедливы только для сжатия древесины поперек волокон. Имеют ли они общий характер и справедливы ли для других видов нагрузений (изгиб, сжатие вдоль волокон и т.п.) будет исследовано в дальнейшем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курицын, В.Н. О реологической модели древесины. / В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева [Текст] // Вестник СибГТУ. – 2004. – №1. – С. 3–6.
2. Курицын, В.Н. Экспериментальное определение модуля упругости второго рода древесины сосны [Текст] / В.Н. Курицын, Е.М. Тюленева // Лесозащита: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 2004. – Вып. 5 – С. 214–217.
3. Тюленева, Е.М. Мгновенные остаточные деформации в древесине [Текст] / Е.М. Тюленева, В.Н. Курицын // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. – Красноярск, 2005. – Т. 2. – С. 231–232.
4. Тюленева, Е.М. Экспериментальное определение модуля упругости первого рода [Текст] / Е.М. Тюленева, В.Н. Курицын // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. – Красноярск, 2004. – С. 113–114.

Поступила 08.05.07

V.N. Kuritsyn, E.M. Tyuleneva  
Siberian State Technological University

#### Experimental Specification of Rheological Wood Model

The instant irreversible deformations are found to be in linear dependence on the applied load value in the experimentation on wood compression in the radial direction. The rheological wood model is offered as an elasto-plastic and flexible body.

Keywords: wood, rheology, elasticity, flexibility, viscosity, plasticity, rheological equation.



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.024.61

**Ю.Д. Алашкевич, Д.В. Пахарь, В.И. Ковалев, Е.Е. Нестеров**

Сибирский государственный технологический университет

Алашкевич Юрий Давыдович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет 370 научных работ в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева, химии древесины.  
E-mail: [mapt@sibstu.kts.ru](mailto:mapt@sibstu.kts.ru)



Пахарь Дмитрий Владимирович родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры машин и аппаратов промышленных технологий СибГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование химической переработки биомассы дерева, химия древесины.  
E-mail: [mapt@sibstu.kts.ru](mailto:mapt@sibstu.kts.ru)



Ковалев Валерий Иванович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 60 печатных работ в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева, химии древесины.  
E-mail: [mapt@sibstu.kts.ru](mailto:mapt@sibstu.kts.ru)



Нестеров Евгений Евгеньевич, ассистент кафедры высшей математики и информатики Сибирского государственного технологического университета.  
E-mail: [mapt@sibstu.kts.ru](mailto:mapt@sibstu.kts.ru)

**ПОСТРОЕНИЕ ГАРНИТУРЫ ДИСКОВЫХ МЕЛЬНИЦ С КРИВОЛИНЕЙНОЙ ФОРМОЙ НОЖЕЙ**

С помощью аналитического метода получены уравнения для определения координат центра и радиуса кривизны единичного ножа окружной формы.

*Ключевые слова:* размол, гарнитура, радиус кривизны, нож криволинейной формы.

В целлюлозно-бумажном производстве размол волокнистых полуфабрикатов играет существенную роль. При появлении на предприятиях ЦБП более совершенного размалывающего оборудования с ножевым воздействием на волокно (дисковые и конические мельницы последних моделей) разработчики столкнулись с рядом проблем, в первую очередь с решением вопросов конструирования гарнитуры для этих машин. Существующие рисунки гарнитур для дисковых мельниц часто не имеют теоретического обоснования их построения и распределения ножей по поверхности рабочих органов.

Решение данной задачи является одним из условий, позволяющих не только осмысленно прогнозировать процесс размола, но и предвидеть закономерности их изменения.

Построение единичного ножа окружной формы [4] по сравнению с прямолинейной [2, 3] имеет свои особенности, при этом задача определения его центра и радиуса решена с использованием геометрического построения.

Перед нами стояла задача определения центра и радиуса кривизны с применением аналитического способа.

Для решения этой задачи воспользуемся рисунком и примем следующие допущения:

считаем, что режущая кромка  $AB$  ножа на гарнитуре ротора и статора имеет окружную форму;

задаем конкретные радиусы внутренней  $r$  и наружной  $R$  окружных кромок гарнитуры;

задаем углы наклона  $\alpha$  и  $\beta$  касательных  $AA_1$  и  $BB_1$  дуги  $AB$  (в точках  $A$  и  $B$  ее пересечения с внутренней и наружной окружными кромками гарнитуры) к радиусам  $r$  и  $R$ , которые проведены из центра  $O$  в точки  $A$  и  $B$ .

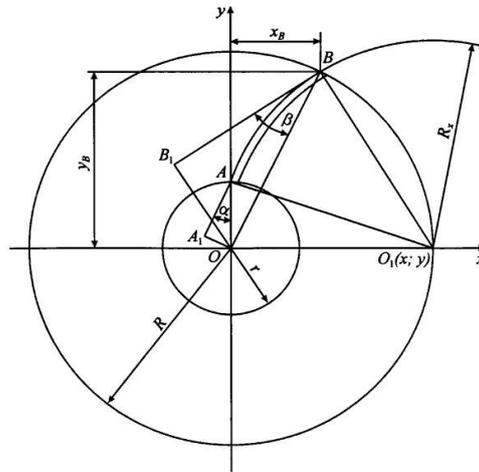
Таким образом, имеем четыре переменных параметра:  $r$ ,  $R$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ .

Запишем условия, позволяющие рассчитать координаты центра  $O_1$ , из которого радиусом  $R_x$  проведена дуга  $AB$ :

1. Точка  $B$  принадлежит наружной окружной кромке (радиуса  $R$ ).
2. Для дуги  $AB$  с центром  $O_1$  отрезки  $O_1A$  и  $O_1B$  равны между собой как ее радиусы, т.е.  $O_1A = O_1B = R_x$ .
3. Касательная  $AA_1$  и радиус  $OA = r$  образуют между собой угол  $\alpha$ .
4. Касательная  $BB_1$  и радиус  $OB = R$  образуют между собой угол  $\beta$ .
5. Построение ножа будем осуществлять в 1-й четверти плоской системы координат.

Внутренняя и наружная кромки гарнитуры являются концентрическими окружностями, в центре  $O$  которых поместим начало координат. Ближний к центру  $O$  конец режущей кромки  $AB$  ножа, точку  $A$ , расположим в точке пересечения внутренней окружной кромки с осью ординат.

Тогда координаты точки  $A$ : по оси абсцисс – 0, по оси ординат –  $r$ .



Фронтальная проекция рабочей поверхности диска гарнитуры с единичным криволинейным ножом

Согласно третьему допущению, касательная  $AA_1$  с осью ординат образует угол  $\alpha$ , с осью абсцисс  $-(\pi/2 - \alpha)$ . Следовательно, ее угловой коэффициент

$$K_{AA_1} = \operatorname{tg}(\pi/2 - \alpha) = \operatorname{ctg}\alpha. \quad (1)$$

Прямая  $O_1A$  перпендикулярна касательной  $AA_1$ , ее угловой коэффициент

$$K_{O_1A} = \frac{-1}{K_{AA_1}} = \frac{-1}{\operatorname{ctg}\alpha} = -\operatorname{tg}\alpha. \quad (2)$$

Запишем уравнение прямой  $O_1A$  [1]:

$$y = (-\operatorname{tg}\alpha)x + b. \quad (3)$$

Найдем константу  $b$ .

Прямая  $O_1A$  проходит через точку  $A$ . Подставив значения ее координат в уравнение (1), получим

$$r = (-\operatorname{tg}\alpha)0 + b = b,$$

тогда уравнение прямой  $O_1A$  примет следующий вид:

$$y = (-\operatorname{tg}\alpha)x + r. \quad (4)$$

Угол наклона прямой  $OB$  к оси абсцисс определим по тригонометрической функции  $\operatorname{arctg} \frac{y_B}{x_B}$ .

Воспользуемся четвертым условием и определим угол наклона прямой  $BB_1$  к оси абсцисс:  $\operatorname{arctg} \frac{y_B}{x_B} - \beta$ .

Тогда угловой коэффициент прямой  $BB_1$

$$K_{BB_1} = \operatorname{tg}\left(\operatorname{arctg} \frac{y_B}{x_B} - \beta\right) = \frac{y_B - x_B \operatorname{tg}\beta}{x_B + y_B \operatorname{tg}\beta}. \quad (5)$$

Прямая  $O_1B$  перпендикулярна касательной  $BB_1$ , поэтому ее угловой коэффициент

$$K_{O_1B} = \frac{-1}{K_{BB_1}} = \frac{x_B + y_B \operatorname{tg}\beta}{x_B \operatorname{tg}\beta - y_B}. \quad (6)$$

Запишем уравнение прямой  $O_1B$ :

$$y = \frac{x_B + y_B \operatorname{tg}\beta}{x_B \operatorname{tg}\beta - y_B} x + b. \quad (7)$$

Прямая  $O_1B$  проходит через точку  $B = B(x_B, y_B)$ . Подставив значения этих координат в уравнение (3), получим

$$y = \frac{x_B + y_B \operatorname{tg}\beta}{x_B \operatorname{tg}\beta - y_B} x + b.$$

Отсюда

$$b = y_B - \frac{x_B^2 + x_B y_B \operatorname{tg}\beta}{x_B \operatorname{tg}\beta - y_B} = \frac{x_B y_B \operatorname{tg}\beta - y_B^2 - x_B^2 - x_B y_B \operatorname{tg}\beta}{x_B \operatorname{tg}\beta - y_B} = -\frac{x_B^2 + y_B^2}{x_B \operatorname{tg}\beta - y_B},$$

поэтому уравнение прямой  $O_1B$  примет следующий вид:

$$y = \frac{x_B + y_B \operatorname{tg} \beta}{x_B \operatorname{tg} \beta - y_B} x - \frac{x_B^2 + y_B^2}{x_B \operatorname{tg} \beta - y_B}. \quad (8)$$

Решая совместно уравнения прямых  $O_1A$  (4) и  $O_1B$  (6), найдем координаты их точки пересечения  $O_1$ :

$$x = \frac{rx_B \operatorname{tg} \beta - ry_B + y_B^2 + x_B^2}{x_B + y_B \operatorname{tg} \beta + x_B \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \alpha - y_B \operatorname{tg} \alpha}. \quad (9)$$

Ордината точки пересечения  $O_1$  прямых  $O_1A$  и  $O_1B$  была определена в уравнении (4).

С учетом условия (2) радиусы кривизны  $O_1A$  и  $O_1B$  равны между собой, соответственно их квадраты  $O_1A^2$  и  $O_1B^2$  тоже равны. В плоской системе координат запишем это в виде равенства

$$(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2 = (x - 0)^2 + (y - r)^2. \quad (10)$$

После преобразования имеем

$$x_B^2 + y_B^2 + 2yr - 2xx_B - 2yy_B - r^2 = 0. \quad (11)$$

Пользуясь третьим допущением, получим уравнение наружной окружной кромки гарнитуры:

$$x_B^2 + y_B^2 = R^2.$$

Следовательно

$$y_B = \sqrt{R^2 - x_B^2}. \quad (12)$$

Подставим правые части равенств (4) и (5) в уравнение (6):

$$x_B(-R^2 + r^2 + R^2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta - r^2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) + y_B(R^2 \operatorname{tg} \alpha + R^2 \operatorname{tg} \beta + r^2 \operatorname{tg} \alpha + r^2 \operatorname{tg} \beta) + (-2rR^2 \operatorname{tg} \beta - 2rR^2 \operatorname{tg} \alpha) = 0. \quad (13)$$

Обозначим:

$$\begin{aligned} -R^2 + r^2 + R^2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta - r^2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta &= a; \\ -R^2 \operatorname{tg} \alpha + R^2 \operatorname{tg} \beta + r^2 \operatorname{tg} \alpha + r^2 \operatorname{tg} \beta &= b; \\ -2rR^2 \operatorname{tg} \beta - 2rR^2 \operatorname{tg} \alpha &= c. \end{aligned} \quad (14)$$

Как видно из (14), параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  зависят лишь от исходных данных  $r$ ,  $R$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ , т.е. они вполне корректны.

Введя обозначения (14) в уравнение (13), получим

$$ax_B + by_B + c = 0. \quad (15)$$

Подставим правую часть равенства (12) в уравнение (15):

$$ax_B + b\sqrt{R^2 - x_B^2} + c = 0.$$

Отсюда

$$\sqrt{R^2 - x_B^2} = \frac{-c - ax_B}{b}. \quad (16)$$

Возведем в квадрат обе части равенства (16):

$$R^2 - x_B^2 = \frac{c^2 + 2acx_B + a^2 x_B^2}{b^2}. \quad (17)$$

После преобразования (17) получим квадратное уравнение

$$(a^2 + b^2)x_B^2 + 2acx_B + c^2 - b^2R^2 = 0, \quad (18)$$

которое решим относительно  $x_B$ :

$$x_B = \frac{-ac + bR\sqrt{a^2 + b^2 - c^2/R^2}}{a^2 + b^2}. \quad (19)$$

Из условия (5) второй корень уравнения не имеет практического смысла.

Подставив правую часть (19) в уравнение (7), определим  $y$ .

Зная координаты точки  $B$ , можно по уравнениям (4) и (7) определить координаты точки  $O_1$  и вычислить радиус  $R_x = O_1B = O_1A$  дуги  $AB$  режущей кромки ножа. Найдем радиус  $R_x$  как расстояние  $O_1A$  между точками  $A(O, r)$  и  $O_1(x, y)$ :

$$R_x = \sqrt{(x-0)^2 + (y-r)^2} = \sqrt{x^2 + (y-r)^2}. \quad (20)$$

#### Выводы

1. Установлено, что при наличии таких входных параметров, как конкретные радиусы внутренней  $r$  и наружной  $R$  окружных кромок гарнитуры, углов наклона  $\alpha$  и  $\beta$ , можно изобразить единичную режущую кромку окружной формы и построить сам нож, а также распределить такие ножи по всей кольцевой поверхности гарнитуры ротора или статора.

2. С помощью аналитического метода были получены уравнения для определения координат центра (9), (4) и радиуса кривизны (20) единичного ножа окружной формы.

3. Для простоты записей ответ к задаче нужно представить в рекуррентной форме, иначе конечное аналитическое решение будет весьма громоздким. Последовательность решения задачи:  $x_B$  вычисляются из (19);  $y_B$  – из (12);  $x$  – из (9);  $y$  – из (4);  $R_x$  – из (20).

4. Результаты работы с учетом обоснованного построения рисунка гарнитуры дисковых мельниц могут быть использованы для выявления закономерностей изменения и прогнозирования процесса размола в технологическом процессе ножевой обработки волокнистых материалов при получении готовой продукции целлюлозно-бумажного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Выгодский, М.Я.* Справочник по высшей математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1977. – 872 с.
2. *Ковалев, В.И.* Обоснование построения рисунка гарнитуры ножевых размалывающих машин [Текст] / В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич, В.Г. Васютин // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы III конф. Алт. ун-та. – Барнаул, 2007. – Кн. 3. – С. 90–94.
3. *Ковалев, В.И.* Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03 / В.И. Ковалев. – Красноярск, 2007. – 176 с.
4. Пат. 2307883 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> D21D1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура [Текст] / Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И., Харин В.Ф., Мухачев А.П.; заявитель и патентообладатель СибГТУ. – № 2006110647/12.; заявл. 03.04.2006; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28. – 5 с.

Поступила 07.05.08

---

*Yu.D. Alashkevich, D.V. Pakhar, V.I. Kovalev, E.E. Nesterov*  
Siberian State Technological University

**Tacking Building of Disk Mills with Curved Form of Blades**

Equations for determining centre coordinates and curvature radius of a single round-form blade are obtained with the help of analytical method.

Keywords: grinding, tacking, radius of curvature, blade of curved form.

---

УДК 676.038.2

**А.В. Кулешов<sup>1</sup>, А.С. Смолин<sup>1</sup>, Е.В. Новожилов<sup>2</sup>, А.В. Кондаков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров<sup>2</sup>Архангельский государственный технический университет

Кулешов Александр Васильевич родился в 1980 г. окончил в 2005 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант, ассистент кафедры технологии бумаги и картона СПбГТУРП. Имеет более 10 научных работ в области использования вторичного волокна.  
Тел.: (812) 786-86-25



Смолин Александр Семенович окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 130 научных трудов в области изучения процессов бумажно-картонного производства, химии бумаги, использования вторичного волокна.



Тел.: (812) 786-86-25

Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета, чл.-корреспондент РАЕН, лауреат премии им. М.В. Ломоносова. Имеет около 150 научных трудов в области технологии комплексной переработки сульфитных и сульфатных щелоков, ферментных технологий в химической переработке древесины, технологий очистки сточных вод.  
E-mail: biotech@agtu.ru



Кондаков Александр Васильевич родился в 1983 г., окончил в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии АГТУ. Имеет 5 научных работ в области процессов биотехнологии в ЦБП.  
E-mail: [biotech@agtu.ru](mailto:biotech@agtu.ru)



## **ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКУЛАТУРНОГО ВОЛОКНА 8\*    Э ФЕРМЕНТАТИВНОГО УДАЛЕНИЯ КРАХМАЛА**

Установлено, что ферментативное удаление отработанного крахмального связующего из макулатурного волокна обработкой  $\alpha$ -амилазой позволяет повысить прочностные и деформационные характеристики бумажного листа и эффективность действия катионного крахмала, вводимого в качестве связующего.

*Ключевые слова:* макулатура, крахмал,  $\alpha$ -амилаза, прочность бумаги.

Крупнотоннажным источником волокна для производства тароупаковочных видов бумаги и картона (в основном картона для плоских слоев

гофрокартона и бумаги для гофрирования) является макулатура марки МС-5Б. В технологии производства гофротары широко используются различные виды крахмалов: катионный крахмал в качестве флокулянта и связующего для повышения прочности; нативный крахмал для склейки слоев гофрокартона; окисленный крахмал для поверхностной проклейки и как связующее в составе мелованного покрытия [2, 6].

В принятой технологии подготовки бумажной массы из макулатуры данной марки не предусмотрены специальные операции для удаления отработанного крахмального связующего, поэтому крахмалопродукты в основном остаются в волокне, что приводит к их накоплению при повторных циклах использования. Процесс переработки такой макулатуры сопровождается существенными технологическими трудностями. Способность крахмала к набуханию в водной среде вызывает ухудшение обезвоживания макулатурной массы. Это проявляется в завышении степени помола водно-волокнистой суспензии по сравнению со степенью помола волокна. В литературе для описания этого явления применяют такие термины как «псевдопомол», «кажущаяся степень помола», «нетехнологическая степень помола». Из-за низкой водоотдачи массы при формовании бумажного полотна на сеточном столе увеличивается расход пара на сушку и уменьшается производительность бумагоделательных машин.

Многочисленный возврат макулатуры в производство приводит к необратимым изменениям в физико-химической и морфологической структурах вторичных волокон, что вызывает частичную потерю ими способности к набуханию и образованию межволоконных связей. Проблема восстановления бумагообразующих свойств вторичных волокон очень актуальна.

Вклад отработанного крахмала в прочностные характеристики продукции, вырабатываемой на основе макулатуры из гофротары, пока не совсем ясен. Крахмалопродукты из вторичных волокон могут быть удалены с помощью ферментативной обработки [5, 8, 9]. Было показано [5], что высокая степень извлечения старого крахмала из волокна достигается при действии  $\alpha$ -амилазы на промытую макулатурную массу, о чем свидетельствует значительное уменьшение ее степени помола. Удаление отработанного крахмального связующего при ферментативной обработке привело к снижению показателей прочности бумаги на 6...8 %, поэтому утверждалось [6], что остаточный крахмал сохраняет свойства слабого упрочняющего агента. Однако более принятым является мнение [1, 5, 7], что содержащиеся в макулатурной массе различные виды крахмалов в очередном цикле переработки сырья оказывают отрицательное влияние на прочностные свойства бумажной продукции. Это объяснялось потерей крахмальными связующими клеящих свойств, по этой причине в очередном цикле переработки требуется добавление в качестве упрочняющего реагента катионного крахмала в количестве 6...20 кг/т волокна.

Свои проблемы создает та часть «старого» крахмала, которая в результате механического воздействия в процессах разволокнения, сортирования и размола переходит в оборотную воду. Накапливаясь в ней в виде кол-

лоидных частиц и агрегатов с другими компонентами макулатурной массы, фрагменты растворенного крахмала при повторной переработке приобретают отрицательный заряд, становясь источником анионных загрязнений («анионный мусор»). Наличие таких загрязнений приводит к увеличению катионной потребности бумажной массы и резкому снижению эффективности дорогостоящих химических вспомогательных веществ, проклеивающих реагентов, свежего катионного крахмала [3]. Было показано [9], что продукты деструкции крахмала являются нежелательными примесями оборотных вод, после их удаления путем сгущения массы прочностные показатели картона возросли на 15...16 %.

Цель данного исследования – выяснить, как удаление крахмала из вторичного волокна посредством обработки ферментом  $\alpha$ -амилазой влияет на его бумагообразующие свойства.

Ферментативную обработку можно проводить до или после размола макулатурной массы. На стадии размола и рафинирования массы происходит набухание и фибриллирование волокон, что сопровождается интенсивным удалением крахмала с их поверхности. Об увеличении степени загрязненности оборотных вод в ходе размола макулатурной массы свидетельствует повышение показателя ХПК [5]. Прирост этого показателя становится особенно заметным при степени помола массы выше 30 °ШР. В данном исследовании была поставлена задача максимально полно извлечь отработанный крахмал из вторичного волокна, что достигается при сочетании размола и ферментативной обработки размолотой массы.

Макулатуру марки МС-5Б после роспуска размалывали на дисковой мельнице НДМ до степени помола 35 °ШР и делили на несколько частей: одну часть оставляли для сравнения (контрольный опыт); вторую часть массы при концентрации 3 % обрабатывали в течение 3 ч  $\alpha$ -амилазой (Aquazyme 120L компании «Novozymes A/S», Дания) в количестве 5 кг/т абс. сухого волокна при температуре 50 °С; в третью часть размолотой массы и в размолотую после ферментативной обработки массу (четвертая часть) дополнительно добавляли катионный крахмал Perlcore B35 со степенью замещения 0,04 в количестве 10 кг/т волокна. Лабораторные отливки бумаги (масса 1 м<sup>2</sup> – 100 г) изготавливали на листоотливном аппарате ЛА-4. Чтобы исключить влияние компонентов оборотной воды, для разбавления массы и приготовления отливок использовали только техническую воду. В отливках определяли прочностные и деформационные характеристики [4].

Ферментативная обработка  $\alpha$ -амилазой ускоряет гидролиз и деполимеризацию крахмала, в результате чего продукты его деструкции в виде декстринов легко отделяются от волокон и переходят в раствор. Как видно из данных таблицы, удаление отработанного крахмального связующего из вторичного волокна позволяет значительно повысить прочностные и деформационные характеристики бумажного листа. Так, рост показателей прочности массы, прошедшей ферментативную обработку, по сравнению с образцами из исходной массы по разрывной длине и сопротивлению про-

давливанию составил 9 %, по сопротивлению раздиранию – 17 %, а рост сопротивления на излом при многократных перегибах достиг почти 60 %.

Добавление к размолотой массе катионного крахмала привело к значительному увеличению прочности отливок по всем показателям. Однако наиболее эффективно введение в качестве упрочняющей добавки свежего крахмала при высокой степени очистки вторичного волокна от старого крахмального связующего (см. таблицу).

Ранее было показано [3], что даже частичное удаление загрязнений при роспуске макулатуры в щелочной среде увеличивает эффективность действия катионного крахмала. Щелочную обработку применяют при облагораживании макулатурной массы в сочетании с отбелкой пероксидом водорода, потому что процесс отбеливания также проводится в щелочной среде [1]. Такая обработка гофротары менее целесообразна, так как после нее необходимо дополнительное введение кислых химикатов для обеспечения нейтральной или слабокислой среды перед проклейкой бумажной массы, что неизбежно приведет к накоплению минеральных солей в оборотной воде.

**Влияние ферментативной обработки бумажной массы из макулатуры МС-5Б и добавления катионного крахмала на показатели механической прочности отливок бумаги**

Показатель	Значение показателя для массы			
	без добавок (контроль)	с добавкой		
		амилазы	крахмала	амилазы + крахмала
Сопротивление разрыву, Н	84	91	101	109
Разрывная длина, м	5700	6200	6850	7400
Относительное удлинение в момент разрушения, %	2,1	2,2	2,4	2,5
Сопротивление:				
продавливанию, кПа	230	250	280	340
раздиранию, мН	700	820	950	1090
излому, ч.д.п.*	223	353	266	543

\* ч.д.п. – число двойных перегибов.

Несомненным преимуществом обработки  $\alpha$ -амилазой перед обработкой щелочью является то, что взаимодействие массы с ферментом может проводиться в нейтральной среде при низкой температуре (30...50 °С). При этом тенденция к значительному росту прочностных характеристик отливок сохраняется и при добавлении катионного крахмала. Если у исходной массы прирост сопротивления продавливанию составлял 22 %, то у массы, обработанной ферментом, этот показатель увеличивался на 36 %, а сопротивление излому – в 2 раза.

Механизм улучшения прочностных характеристик вторичного волокна при обработке  $\alpha$ -амилазой можно объяснить следующим образом. В результате набухания крахмала в водной среде и его ферментативной деструкции происходит очистка поверхности волокна, что способствует более

тесному контакту волокон между собой и образованию более прочных межволоконных связей в листе бумаги. Кроме того, освобождаются для взаимодействия с добавляемым катионным крахмалом гидроксильные группы волокна, ранее блокированные деградированным крахмалом.

Таким образом, удаление отработанного крахмального связующего из вторичного волокна позволяет значительно повысить прочностные и деформационные характеристики бумажного листа, увеличить эффективность действия катионного крахмала, вводимого в качестве связующего. Тем не менее, это не позволяет в полной мере решить проблемы, связанные с наличием в поступающей на переработку макулатуре старого крахмала, так как в оборотной воде накапливаются продукты его деструкции, которые также необходимо удалять или разрушать, например, путем биологической обработки оборотной воды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дулькин, Д.А. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги [Текст] / Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов, В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. – 1118 с.
2. Копыльцов, А.А. Опыт применения катионных крахмалов при производстве бумаги и картона из макулатуры [Текст] / А.А. Копыльцов // Технология переработки макулатуры: науч. тр. 6-й науч.-техн. конф. – Караваево – Правда, 2005. – С. 120–123.
3. Крылов, А.Ю. Снижение анионных загрязнений при производстве бумаги и картона [Текст] / А.Ю. Крылов, И.Н. Ковернинский // Современные достижения в производстве и использовании бумаги и картона для печати: тез. докл. науч.-практ. конф. – СПб., 2004. – С. 78–84.
4. Кулешов, А.В. Бумагообразующие свойства целлюлозных волокон при их неоднократном использовании [Текст] / А.В. Кулешов, А.С. Смолин // Научные основы инновационных технологий бумаги и картона: тр. 1-й Всеросс. науч.-техн. конф. – Полотняный Завод, 2008. – С. 59–65.
5. Лапин, В.В. Загрязнения в бумажной массе из 100 % макулатуры: влияние на степень помола и прочность бумаги и картона [Текст] / В.В. Лапин, А.И. Смоляков, Н.Д. Кудрина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2001. – № 7-8. – С. 32–34.
6. Лапин, В.В. Проблема прочностных свойств бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев из 70...100 % макулатуры: роль помола [Текст] / В.В. Лапин, А.И. Смоляков, Н.Д. Кудрина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2002. – № 9-10. – С. 32–34.
7. О применении катионного крахмала в производстве бумаги и картона из вторичного волокна [Текст] / А.М. Итиатуллин [и др.] // Теория и технология бумажно-картонной продукции из вторичного волокна: науч. тр. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. – Правда – Караваево, 2004. – С. 58–62.
8. Петерсон, Х.Х. Применение ферментов в технологии переработки макулатуры [Текст] / Х.Х. Петерсон // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: науч. тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. – Караваево, 2006. – С. 31–34.

9. Проблема переработки макулатуры, содержащей катионные и анионные виды крахмалов [Текст] / Н.И. Яблочкин [и др.] // Технология переработки макулатуры: науч. тр. 6-й науч.-техн. конф. – Караваево – Правда, 2005. – С. 19–21.

Поступила 23.01.09

*A.V. Kuleshov<sup>1</sup>, A.S. Smolin<sup>1</sup>, E.V. Novozhilov<sup>2</sup>, A.V. Kondakov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

<sup>2</sup> Arkhangelsk State Technical University

### **Characteristics of Waste Paper Fibers after Enzymatic Starch Removal**

It is established that enzymatic removal of the worked-out starch adhesive of waste paper fibers by treatment with  $\alpha$ -amylase allows to increase the strength and deformation characteristics of paper and efficiency of cationic starch actions injected as adhesive.

Keywords: waste paper, starch,  $\alpha$ -amylase, paper strength.

---

УДК 630\*867.5:674.032.14

*Н.С. Епифанцева, Ю.Я. Симкин*

Сибирский государственный технологический университет

Епифанцева Наталья Сергеевна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Сибирский государственный технологический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности. Имеет более 10 печатных работ в области термической переработки древесины.  
E-mail: garant2005@bk.ru



Симкин Юрий Яковлевич родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Сибирский технологический институт, докторант, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 70 печатных работ в области термической переработки древесины.  
E-mail: simkin Yuri51@mail.ru



### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦ, ПОРАЖЕННЫХ СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ, КАК СЫРЬЯ ДЛЯ УГЛЕЖЖЕНИЯ**

Показано, что, в древесине лиственниц, пораженных сибирским шелкопрядом, с длительностью усыхания до 12 лет основные углеобразующие вещества остаются в достаточном количестве, сохраняются клеточный каркас и общий характер процесса термического разложения, создающие необходимые условия для формирования структуры древесных углей и сорбентов.

*Ключевые слова:* лиственница, сибирский шелкопряд, усыхание древесины, химический состав, анатомическое строение, термическое разложение древесины, углеобразующие свойства.

Сибирский шелкопряд является основным вредителем хвойных лесов Сибири и Дальнего Востока. Только за последние 100 лет на территории Красноярского края зарегистрировано 9 крупных вспышек массового размножения вредителя. В результате были повреждены леса на площади более 10 млн га. Только в 1996 г. погибло более 140 тыс. га леса, было потеряно около 50 млн м<sup>3</sup> древесины. Через пять лет из-за нападения на ослабленные деревья большого черного усача площадь усохших лесов удвоилась [1, 4].

Участки тайги, поврежденные сибирским шелкопрядом, превращаются в склады сухой древесины, инициирующие возникновение частых и очень интенсивных пожаров, охватывающих обширные пространства [11]. В отличие от других хвойных пород лиственница обладает способностью к образованию компенсационной хвои и поэтому выдерживает двух-, трехкратное объедание. Например, пихтовые и пихтово-кедровые насаждения, хвоя в которых полностью уничтожена гусеницами сибирского шелкопряда, погибают через год после объедания.

Древесина усыхающих деревьев быстро теряет свои деловые качества под воздействием стволовых вредителей. В настоящее время обширные участки леса Иркутской, Читинской, Амурской областей, Хабаровского и Красноярского краев, занятые шелкопрядами, практически не используются. Вместе с тем, такая древесина может представлять интерес как потенциальное сырье для получения древесных углей и сорбентов. Проведенные ранее исследования показали, что из древесины здоровой лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb., произрастающей в Красноярском крае, можно получать древесный уголь-сырец и активные угли, не уступающие вырабатываемым из традиционно используемой стволовой древесины березы [7]. В данном случае основным критерием пригодности древесины поврежденных деревьев является ее качество с точки зрения углежжения.

Цель наших исследований – установить влияние длительности усыхания поврежденных сибирским шелкопрядом лиственниц на химический состав, анатомическое строение и процесс термического разложения древесины.

Для исследования была выбрана древесина из нижней, средней и верхней частей стволов модельных деревьев лиственницы сибирской с периодами усыхания 2, 3, 7 и 12 лет, а также древесина здоровой лиственницы, не подвергшейся воздействию сибирского шелкопряда. Образцы из 18-годовалого слоя нижней части ствола дерева отбирали на высоте 1,3 м, из средней части – на высоте 6 м, из верхней части – 12 м. Выбранные модельные деревья к моменту усыхания были приблизительно одного возраста (34...36 лет) и одинакового развития. Необходимое и достаточное количество модельных деревьев одинаковой продолжительности усыхания, с которых отбирали пробы для определения с вероятностью 95 % характеристик получаемых угольных материалов, составило не менее 5 [2, 3, 5].

По мере увеличения продолжительности усыхания в древесине дерева начинают происходить процессы биологического разложения, которые можно проследить по изменению химического состава. Наибольший интерес для получения твердых продуктов углежжения представляют углеобразующие компоненты древесины: лигнин, трудногидролизуемые (основное содержание которых составляет целлюлоза) и легкогидролизуемые (преимущественно состоящие из гемицеллюлоз) полисахариды. Поскольку характер физических и биологических процессов, происходящих в различных частях дерева, неодинаков, с использованием стандартных методик [5, 9] была изучена динамика изменений химического состава древесины по высоте стволов подверженных усыханию деревьев (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание основных веществ (% от абс. сухого вещества)  
в древесине модельных деревьев лиственницы по высоте**

Период усыхания дерева, лет	Часть ствола дерева	Вещества, экстрагируемые горячей	Легкогидролизуемые полисахара-	Трудногидролизуемые полисахара-	Лигнин Класона (в модификации)

		чей водой	риды	риды	Комарова)
0*	Верхняя	13,38±0,30	17,52±0,14	40,29±0,53	28,77±0,35
	Средняя	12,64±0,25	17,48±0,21	37,22±0,16	32,07±0,44
	Нижняя	15,17±0,10	17,15±0,08	38,12±0,82	29,01±0,04
2 года	Верхняя	13,48±0,22	18,34±0,01	39,11±0,17	27,36±0,08
	Средняя	14,91±0,58	17,74±0,13	36,03±0,30	29,47±0,25
	Нижняя	17,19±1,10	16,76±0,17	37,22±0,81	27,24±0,01
3 года	Верхняя	12,07±0,21	18,10±0,44	40,89±0,20	27,13±0,22
	Средняя	17,94±0,59	15,19±0,11	36,39±0,16	27,93±0,92
	Нижняя	17,74±0,24	16,12±0,41	38,80±0,14	25,50±0,10
7 лет	Верхняя	9,84±0,22	25,33±0,12	33,67±0,18	28,20±0,07
	Средняя	12,42±0,38	25,40±0,17	32,50±0,11	27,20±0,13
	Нижняя	16,36±0,15	28,15±0,08	30,96±0,42	26,10±0,31
12 лет	Верхняя	9,90±0,25	24,90±0,15	34,66±0,19	27,10±0,11
	Средняя	13,10±0,51	24,20±0,21	33,94±0,23	25,20±0,19
	Нижняя	17,65±0,24	28,10±0,12	30,10±0,11	24,40±0,24

\* Здоровая древесина.

Из результатов, приведенных в табл. 1, следует, что явные изменения химического состава обнаруживаются в древесине лиственниц с периодами усыхания 7 и 12 лет. Пониженное содержание трудногидролизующихся и повышенное содержание легкогидролизующихся полисахаридов в древесине этих деревьев в сравнении с модельными деревьями можно объяснить деструкцией части трудногидролизующихся полисахаридов и переходом их в легкогидролизующиеся. Наибольшая разница в содержании трудно- и легкогидролизующихся полисахаридов, а также лигнина между нижними и верхними частями стволов деревьев, скорее всего, связана с более высокой влажностью нижних частей стволовой древесины, обуславливающей лучшие условия гидролиза трудногидролизующихся полисахаридов и лигнина по сравнению с верхними частями. В верхних частях стволов этих лиственниц на 3...4 % снижено содержание веществ, экстрагируемых горячей водой, что, видимо, связано с уменьшением содержания крахмала и гемицеллюлозы в верхних частях таких деревьев [8]. Содержание трудно- и легкогидролизующихся полисахаридов и веществ, экстрагируемых горячей водой, в средних частях стволов деревьев занимает промежуточное значение между их содержаниями в верхних и нижних частях. Содержание лигнина в древесине средней части ствола здоровой лиственницы превышает более чем на 3 % нижние и верхние части. По мере усыхания деревьев оно сравнивается с верхними и нижними частями и затем также принимает промежуточное значение между ними.

Из исследуемых деревьев более ярко процессы разложения выражены в древесине лиственниц со сроками поражения 7 и 12 лет. Здесь, наряду со снижением содержания лигнина в средней и нижней частях деревьев относительно верхних частей, становится заметным снижение содержания

трудногидролизуемых и соответственное увеличение содержания легкогидролизуемых полисахаридов. Несмотря на начинающиеся процессы биологической деструкции, изменения химического состава и ослабление связей между древесинными компонентами, итоговая сумма полисахаридов в древесине лиственниц с периодами усыхания до 12 лет изменяется незначительно и содержание лигнина остается на достаточно высоком уровне (24...27 %), что свидетельствует о сохранении этой древесиной высокой углеобразующей способности.

Структура получаемых углей формируется на основе анатомического строения древесины. В связи с этим необходимо было выяснить влияние на него продолжительности усыхания древесины. На рис. 1 представлены снимки ранних трахеид 18-годового кольца поперечных срезов образцов здоровой древесины и древесины усыхающих деревьев, взятых на высоте ствола 6 м. Снимки срезов, полученные с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-100У, показали, что изменения в анатомическом строении древесины лиственницы начинаются после 3 лет усыхания. Появляются пустоты между клеточными стенками, что можно связать с вымыванием и разрушением межклеточного вещества, в клеточных стенках трахеид становятся заметными последствия биологической деструкции. Вместе с тем,

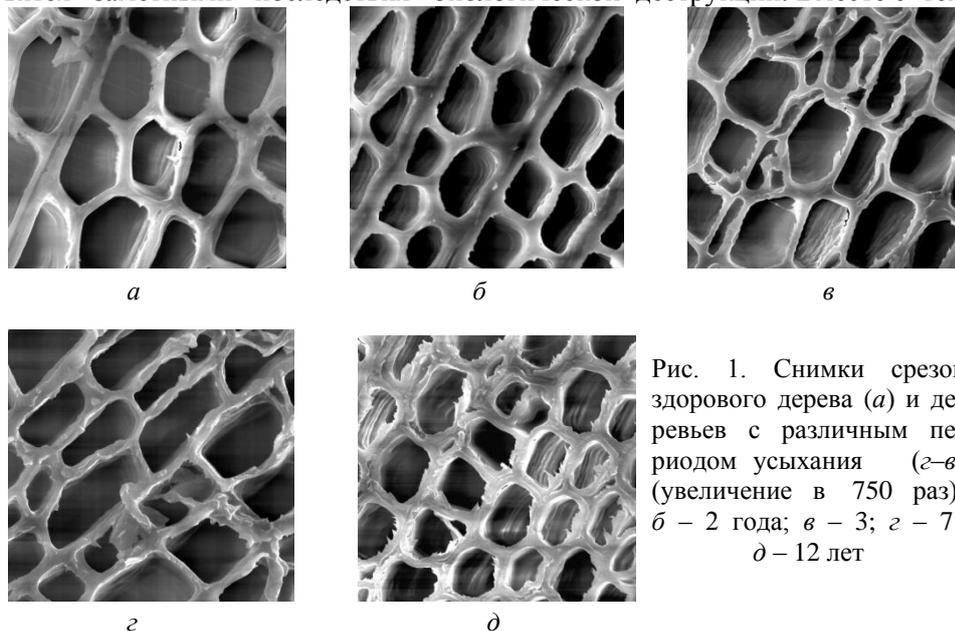


Рис. 1. Снимки срезов здорового дерева (а) и деревьев с различным периодом усыхания (б–в) (увеличение в 750 раз): б – 2 года; в – 3; г – 7; д – 12 лет

даже после 12 лет усыхания капиллярно-пористое строение древесины лиственниц не подверглось коренным изменениям, практически полностью сохранился клеточный каркас, на основе которого формируется внутреннее строение древесных и активных углей.

Изменения химического состава древесины, особенно его целлюлозной и гемицеллюлозной частей и содержания лигнина, влияют на процесс ее

термической деструкции. Результаты термического анализа древесины лиственниц, выполненные на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдеи, представлены в табл. 2. Они свидетельствуют, что конечная убыль массы древесины возрастает с увеличением продолжительности усыхания деревьев и приводит к снижению выхода твердого остатка. Наблюдается интересная связь между химическим составом исследуемых образцов (табл. 1) и данными табл. 2.

Таблица 2

## Динамика термораспада древесины здоровых и пораженных деревьев

Период усыхания дерева, лет	Убыль массы древесины, %, при температуре пиролиза, °С							
	170	220	270	320	370	420	470	520
0*	5,14	6,17	15,42	52,42	57,56	61,67	62,70	66,81
3	4,03	5,04	19,13	55,39	62,44	68,48	73,52	78,55
12	4,48	6,53	28,91	59,69	65,28	71,81	78,34	83,94

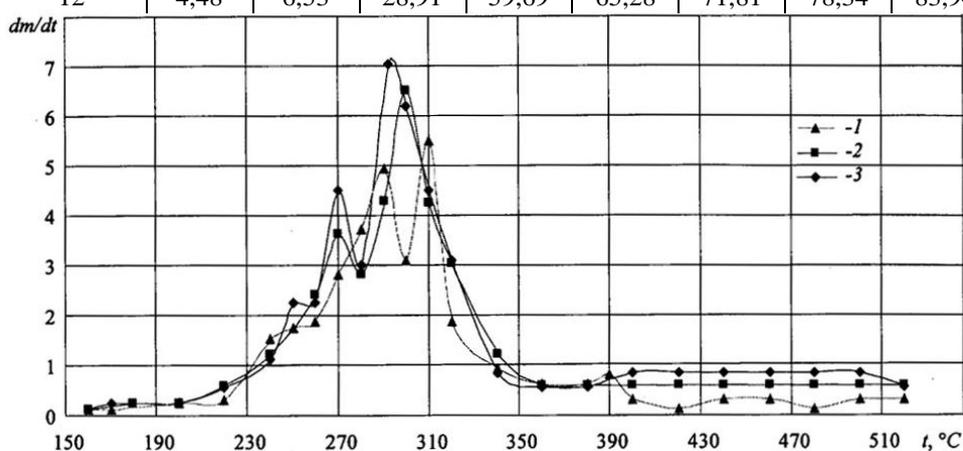


Рис. 2. Скорость потери массы древесиной здорового дерева (1) и деревьев с периодом усыхания 3 (2) и 12 лет (3)

Так, в интервале температур 220...270 °С убыль массы всех образцов возрастает – происходит активное разложение гемицеллюлоз. Потеря массы в этом интервале, для древесины здорового дерева составляющая 15,42 %, для дерева с периодом усыхания 3 года – 19,13 %, 12 лет – 28,91 %, весьма близка к содержанию в древесине этих деревьев легкогидролизуемых полисахаридов (см. табл. 1). Данные, характеризующие опережающую убыль массы древесины дерева с периодом усыхания 12 лет по сравнению с древесиной здорового дерева и дерева с периодом усыхания 3 года, также согласуются с данным по изменению содержания легкогидролизуемых полисахаридов в древесине по мере усыхания деревьев. Зависимость убыли древесной массы от содержания полисахаридов прослеживается и в интервале 270...320 °С,

где разлагается основная масса трудногидролизуемых полисахаридов. Вследствие большего содержания трудногидролизуемых полисахаридов убыль массы древесины здорового дерева на 0,74 и 6,22 % больше, чем у деревьев с периодом усыхания 3 и 12 лет.

Кривые динамики термогидролиза (ДТГ), характеризующие изменение скорости потери массы древесиной здорового и усыхающих деревьев, представлены на рис. 2.

Из сравнения динамики термораспада древесины здорового дерева и деревьев, подверженных усыханию, можно предположить, что по мере усыхания лиственниц термоустойчивость древесинных компонентов снижается за счет ослабления прочности внутренних связей древесинного вещества.

Так, пики максимальных скоростей разложения древесинного вещества, характерных для гемицеллюлоз и целлюлоз, на кривых ДТГ в температурном интервале 230...350 °С (рис. 2) сдвигаются в низкотемпературную область. Пик скорости потери массы древесиной усыхающих деревьев (270 °С), характерный для разложения гемицеллюлоз, смещается на 15 °С по сравнению со здоровым деревом (285 °С); пик скорости потери массы, характерный для разложения целлюлозы дерева с периодом усыхания 3 года (300 °С), смещается на 10 °С относительно здорового дерева (310 °С), а дерева с периодом усыхания 12 лет (290 °С) – на 20 °С. Смещение пиков в сторону меньших температур у пораженной древесины связано, скорее всего, с влиянием на разложение целлюлозы повышенного содержания гемицеллюлоз и меньшего содержания лигнина. Так, Г.Э. Домбург установила [6], что повышенное содержание лигнина в древесине оказывает тормозящее действие на низкотемпературные (200...300 °С) превращения целлюлозы, а гемицеллюлозы, наоборот, ускоряют ее деструкцию. В нашем случае снижение содержания лигнина и повышение содержания гемицеллюлоз у усыхающих деревьев вызвало смещение характерных пиков максимальных скоростей разложения древесинного вещества в сторону низких температур. В интервале конечных температур 390...510 °С характер разложения древесинных компонентов деревьев различных периодов усыхания практически одинаков и заканчивается образованием твердого углеродного остатка, как и в случае здоровой древесины, но с его меньшим выходом.

Результаты дериватографического анализа показывают, что несмотря на смещения температурных пиков термической деструкции отдельных компонентов общий характер термического разложения древесины усыхающих лиственниц, заканчивающегося получением твердого остатка, сохраняется. Вместе с тем, процесс термической деструкции древесины усыхающих деревьев по сравнению со здоровой протекает с большей скоростью. Из литературных данных [10] известно, что повышенные скорости пиролиза древесины способствуют формированию более развитой пористой структуры углей. Данное обстоятельство необходимо учитывать при разработке технологических режимов получения качественных углей.

Исходя из приведенных сравнительных данных химического состава, анатомического строения, термического анализа древесины изучаемых

деревьев можно сделать следующий вывод: в древесине лиственниц с периодом усыхания до 12 лет в достаточной степени сохраняются клеточный каркас, основные углеобразующие компоненты, а также общий характер термического разложения, т.е. имеются необходимые и достаточные условия для формирования структуры древесных углей и сорбентов в процессах пиролиза и активации. Тем не менее, выявленные изменения в древесине усыхающих лиственниц и в характере ее термического разложения необходимо учитывать при пирогазетической переработке такого сырья в технологиях, ориентированных на использование здоровой древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчиков, Ю.Н. Массовые размножения сибирского шелкопряда: система мониторинга и комплексная оценка последствий [Текст] / Ю.Н. Баранчиков, Ю.П. Кондаков // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: сб. ст. – Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2004. – С. 256–258.
2. ГОСТ 16483.6–80. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.6–71; введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.
3. ГОСТ 16483.0–89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.0–78; введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.
4. Кондаков, Ю.П. Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края [Текст] / Ю.П. Кондаков // Энтомологические исследования в Сибири: сб. ст. – Красноярск: КФ СО РЭО, 2002. – Вып. 2. – С. 25–74.
5. Левин, Э.Д. О представительности проб при изучении химического состава древесины [Текст] / Э.Д. Левин, Л.П. Рубчевская // Химия древесины. – 1980. – № 4. – С.103–106.
6. О влиянии лигнина и гемицеллюлоз на термораспад целлюлозы при пиролизе древесины [Текст] / Г.Э. Домбург [и др.] // Переработка продуктов пиролиза древесины: сб. тр. ЦНИЛХИ. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – С.43–47.
7. Петров, В.С. Основы теории и технологии углей из лесосечных отходов лиственницы и других хвойных пород Сибири [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.С. Петров. – Красноярск, 1986. – 340 с.
8. Рожков, А.С. Массовое распространение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ними [Текст] / А.С. Рожков – М.: Наука, 1965. – 179 с.
9. Рязанова, Т.В. Химия древесины [Текст] / Т.В. Рязанова, Н.А. Чупрова, Е.В. Исаева. – Красноярск: КГТА, 1996. – 358 с.
10. Симкин, Ю.Я. Влияние факторов пиролиза при получении активных углей [Текст] / Ю.Я. Симкин, В.С. Петров, С.В. Ушанов / Деп. В ВНИПИЭИ леспром - М., 1984. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ РАН, № 1184 л.б.
11. Солдатов, В.В. Лесопатологический мониторинг в Красноярском крае [Текст] / В.В. Солдатов // Второй межрегиональный семинар по мониторингу и защите леса: сб. ст. – Красноярск, 2001. – С.41–45.

Поступила 21.04.09

---

*N.S. Epifantsev, Yu.Ya. Simkin*  
Siberian State Technological University

**Quality Assessment of Larch Wood Affected by Siberian Silkmoth as Raw Material for Charcoal Burning**

It is shown that main coal-forming substances in the larch wood of up to twelve years drying duration remain in the sufficient quantity, the cell structure and common character of thermal decomposition process creating the necessary conditions for the formation of the charcoal and sorbents structure are preserved.

Keywords: larch, Siberian silkmoth, wood drying, chemical composition, anatomical organization, thermal decomposition, coal-forming properties.

---



## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630\*90

*Н.Е. Егоров<sup>1</sup>, А.П. Исаев<sup>2</sup>*<sup>1</sup>ФГНУ «Институт региональной экономики Севера»<sup>2</sup>Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН

Егоров Николай Егорович родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Якутский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий отделом региональной инновационной экономики ФГНУ «Институт региональной экономики Севера». Имеет около 90 научных работ в области инновационной экономики, формирования региональной инновационной системы.

E-mail: ene01@rambler.ru



Исаев Александр Петрович родился в 1952 г., окончил в 1985 г. Якутский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией мерзлотного лесоведения Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. Имеет более 130 печатных работ в области лесоведения, лесоводства, лесной геоботаники и экологии.

E-mail: forest\_forest@ibpc.ysn.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО  
КЛАСТЕРА ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА  
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

Рассмотрен вопрос о формировании регионального инновационно-промышленного кластера лесного комплекса Республика Саха (Якутия) с активным использованием научно-инновационного и образовательного потенциала республики.

*Ключевые слова:* лесное хозяйство, лесопромышленный комплекс, инновационно-промышленный кластер.

В последнее время в России серьезно возрос интерес к лесопромышленному комплексу (ЛПК) страны со стороны власти, глубокая переработка древесины рассматривается как часть развития инновационной экономики. В то же время ЛПК является, пожалуй, одним из самых уязвимых звеньев российской экономики с точки зрения глобальной конкуренции.

Правительство РФ поэтапно увеличивает ставки вывозных таможенных пошлин. С 1 января 2009 г. экспорт необработанной древесины стал экономически невыгодным в связи с установлением пошлины в размере 80 % от таможенной стоимости лесопродукции. Для сравнения с 1 апреля 2008 г. этот показатель составлял 25 %.

В ряде субъектов Российской Федерации лесопромышленный комплекс является профилирующим и градообразующим. Ведущее место занимает Северо-Западный федеральный округ, среди субъектов РФ на первом месте Иркутская, на втором – Архангельская, на третьем – Вологодская области.

Почти 70 регионов России сохранили это производство, однако в основном на базе мелких предприятий с отсталой технологией и высокой долей браконьерских рубок. В стране в целом из-за отсутствия соответствующей инфраструктуры и технологий расчетная лесосека используется недостаточно [2].

Одно из главных мест по производству и экспорту лесоматериалов и связанного с ним оборудования занимает Финляндия, которая в начале 1990-х гг. стала развивать лесопромышленный кластер. В современной экономической политике кластерный подход является эффективным методом динамического развития конкурентоспособной экономики на основе государственно-частного партнерства с широким использованием научно-инновационного потенциала территорий. Исследования показывают, что этот подход к организации производства относится к перспективным направлениям развития экономики региона и повышения ее конкурентоспособности. Но, несмотря на широкое освещение учеными-исследователями вопросов о создании кластеров, к настоящему времени недостаточно разработаны теоретические и практические основы формирования взаимосвязей предприятий в отраслевых кластерах, в том числе в ЛПК [3].

В последнее время кластерная форма организации лесопромышленных предприятий активно внедряется и в ряде субъектов РФ (Пермская, Псковская, Тюменская, Иркутская области, Красноярский край, Республики Карелия, Коми и т. д.).

Республика Саха (Якутия) – самая крупная по территории среди субъектов Российской Федерации. Ее лесной фонд составляет 255 млн га, или 1/6 российского. Якутская тайга признана учеными-биологами всего мира одним из основных источников кислорода для населения планеты. Лесное законодательство и органы управления лесным хозяйством в течение более чем 200-летней истории претерпевали неоднократные изменения. Вступивший в действие в 2007 г. новый Лесной кодекс РФ внес существенные изменения во все аспекты использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, а также вопросы государственного управления лесами. Началась новая масштабная реформа всей системы управления лесами и лесопользования. Разработана схема комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики Республики Саха (Якутия) до 2020 г. (утверждена постановлением Правительства РС (Я) 06.09.2006 г. № 411 и одобрена Правительством РФ 08.02.2007 г.).

Республика Саха (Якутия) – это огромный источник высококачественного леса. Общий запас древесины оценивается в 8,8 млрд м<sup>3</sup>, из них 62 % приходится на спелые и перестойные леса. Расчетная лесосека составляет 35,2 млн м<sup>3</sup>. Но для переработки такого объема требуется направить значительные капиталовложения в создание инфраструктуры и лесоперерабатывающих производств. Богатейшие возобновляемые лесосырьевые ресурсы, производственный и технический потенциал отрасли создают предпосылки для развития в республике лесной и деревообрабатывающей промышленности. В качестве основной базы целесообразно рассматривать южные регионы Якутии – территории Ленского, Олекминского, Алданского,

Усть-Майского районов, где сосредоточены эксплуатационные запасы (50 711 тыс. м<sup>3</sup>) добротной древесины с относительно высокой концентрацией на единице площади. На эту территорию уже пришли китайские инвесторы, созданы два российско-китайских предприятия. Предполагается, что на них будут заняты 2000 специалистов из КНР.

Производство лесной и деревообрабатывающей промышленности РС(Я) в основном направлено на удовлетворение внутреннего рынка, и только небольшое количество круглого леса и пиломатериалов вывозится за пределы республики, в том числе на экспорт: в Германию, Австрию, Японию, Корею. Так, в 2007 г. за пределы республики было реализовано 1,92 тыс. м<sup>3</sup> деловой древесины и 16,8 тыс. м<sup>3</sup> пиломатериалов. Экспорт пиломатериалов в Европу осуществляет предприятие ЛПК «АлМас» ОАО «Алмазы Анабара».

В 2007 г. на территории РС(Я) заготовлено 1026,1 тыс. м<sup>3</sup> древесины по всем рубкам главного пользования, в том числе деловой 44,8 %. На долю арендаторов приходится 133,2 тыс. м<sup>3</sup> древесины. В 28 районах республики лесозаготовительной и деревообрабатывающей деятельностью занимаются около 350 крупных, средних и малых предприятий, индивидуальных предпринимателей и крестьянских хозяйств, в том числе девять крупных заводов, оснащенных импортным технологическим оборудованием. Ведущим предприятием было ОАО «Алмазы Анабара», которое на арендованных участках фактически заготовило 82,0 тыс. м<sup>3</sup> древесины, или 61,6 %.

Отрасль является убыточной и низкорентабельной из-за отсутствия необходимой сети лесовозных дорог, что приводит к резкой сезонности лесозаготовительного производства, отвлечению оборотных средств предприятий на создание межсезонных запасов, снижению качества древесины, заготовленной в летний период. Лесопромышленный комплекс требует крупных вложений и не сразу может приносить сверхдоходы.

В перспективе ЛПК в Республике Саха (Якутия) должен развиваться по следующим направлениям:

- формирование инфраструктуры отрасли (строительство и ремонт дорог, терминалов, возобновление сырьевой базы);
- техническое перевооружение, модернизация и замена оборудования, направленные на увеличение выпуска качественной и конкурентоспособной продукции на базе современных технологий;
- снижение сезонности лесозаготовок в результате строительства лесовозных дорог круглогодичного действия;
- кардинальное решение системы сбыта готовой продукции, в том числе на экспорт в страны Европейского союза и Азиатско-Тихоокеанского региона;
- организация конкурентоспособных производств по глубокой переработке древесины.

В связи с началом действия нового Лесного кодекса РФ и передачей отдельных полномочий Российской Федерации в области лесных отношений субъектам РФ Указом Президента Республики Саха (Якутия) в декабре

2006 г. при Министерстве охраны природы РС(Я) был организован специальный департамент с возложением на него функции по реализации государственной политики в области лесных отношений, государственного лесного контроля и надзора. В ведение департамента включены 29 государственных учреждений: 28 лесхозов муниципальных образований и Якутская база авиационной охраны лесов.

Одним из эффективных направлений развития предприятий ЛПК республики в целом и отдельных предприятий является кластерный подход, связанный с достижением значительного синергетического эффекта в производственной и социальной сферах. Важной отличительной чертой кластера в общей модели производственно-кооперационных и иных взаимодействий субъектов хозяйствования служит фактор инновационной ориентированности. Исходя из этого, региональный инновационно-промышленный кластер можно представить в виде системы сконцентрированных в одном регионе взаимосвязанных производственных предприятий, научно-образовательных учреждений и государственных органов, сосредоточенных вокруг базовой отрасли промышленности для производства и выпуска продукции, ориентированной на экспорт, и достижения конкурентоспособности региона внутри страны и на мировом рынке [1]. В этом плане представляет определенный интерес перевод хозяйственной деятельности ЛПК на инновационный путь развития путем создания регионального инновационно-промышленного кластера лесного комплекса Республики Саха (Якутия) (см. рисунок).

Согласно концепции инновационной политики Республики Саха (Якутия) на период до 2010 г. (утверждена постановлением Правительства РС(Я) от 17.08.2004 г. № 379) основные направления инновационной деятельности в лесозаготовительной, деревообрабатывающей промышленности заключаются в опережающем развитии перерабатывающих производств в районах основных лесозаготовок; максимальном использовании собственных источников энергии и вторичных ресурсов; создании новых производств по переработке отходов деревообработки. Научно-инновационная деятельность в сфере ЛПК осуществляется в основном лабораторией мерзлотного лесоведения Института биологических проблем криолитозоны (ИБПК) СО РАН, межведомственной учебно-научной лабораторией мерзлотного лесоведения и лесоводства, кафедрой технологии деревообработки и деревянных конструкций инженерно-технического факультета Якутского госуниверситета. Основными направлениями НИОКР в сфере ЛПК являются совместные исследования по изучению лесов и лесных ресурсов Республики Саха (Якутия), разработке мер содействия лесовозобновлению на вырубках и гарях, ухода за насаждениями, научных основ прогнозирования и предупреждения лесных пожаров и массового размножения насекомых-вредителей, повышения устойчивости лесных экосистем к антропогенному воздействию, технологии обработки древесины и т. д.

Важное направление научно-инновационной деятельности – использование недревесных ресурсов леса (лекарственные растения, пищевое сырье, технические культуры), из которых можно получить новые инновационные продукты.



Инновационно-промышленный кластер лесного комплекса Республики Саха  
(Якутия)

Нерешенной задачей, стоящей перед лесной наукой и хозяйством, является объективное определение базовых показателей, таких как возраст рубки, расчетная лесосека и др. Существенна проблема информационного обеспечения лесного сектора, крайне низок уровень развития системы учета лесов. Для научного и опытно-хозяйственного обоснования рационального лесопользования в РС(Я), передовых методов и технологий, научной базы охраны лесов необходимо разработать и реализовать государственную целевую программу РС(Я) «Леса Якутии», которая могла бы включать [4]:

- эколого-биологические аспекты функционирования лесов;
- региональные основы ведения лесного хозяйства и рационального лесопользования;
- проблему переработки лесных ресурсов (включая деревообработку, лесохимию, недревесные ресурсы леса);
- охрану лесов от пожаров, энтомовредителей, болезней;
- экономические аспекты лесопользования;
- социально-исторические стороны традиционного лесопользования.

В условиях реформирования экономики необходимы эффективные формы взаимодействия образования, науки и производства. Сегодня на предприятиях, занимающихся первичной переработкой древесины, имеется большой дефицит квалифицированных технических специалистов. В связи с этим возникает потребность в консультациях, экспертизе, инжиниринге по широкому кругу вопросов, связанных с лесопильно-деревообрабатывающим производством. На территории Сибири и Дальнего Востока ведущим высшим учебным заведением в сфере ЛПК является Сибирский государственный технологический университет. В Республике Саха (Якутия) подготовку специалистов лесного профиля осуществляют биолого-географический и инженерно-технический факультеты Якутского госуниверситета. Есть планы подготовки кадров на базе Якутской государственной сельскохозяйственной академии. Специалистов среднего специального профессионального образования выпускают Якутский сельскохозяйственный техникум (техник лесного хозяйства) и Нижнеколымский колледж народов Севера (мастер по лесному хозяйству).

В интересах дальнейшего развития лесохозяйственного комплекса департаменту по лесным отношениям МОП РС(Я), ЯГУ и ЯГСХА необходимо совместно рассмотреть возможность открытия новой образовательной структуры (факультет, кафедра, техникум) по лесному хозяйству для обучения кадров по направлениям деятельности ЛПК.

Таким образом, в сфере ЛПК республики имеются профильные научно-образовательные структуры, комплекс необходимой сопутствующей инфраструктуры для стабильного производственного процесса, которые обеспечивали бы успех в формировании регионального инновационно-промышленного кластера лесного комплекса. Создание подобного кластера существенно повысит эффективность работы ЛПК и послужит улучшению

условий для развития новых производств и выпуска конкурентоспособной продукции в области деревообработки, производства мебели, новых биохимических технологий и т. д. Но слабая заселенность и отдаленность от рынков сбыта, отсутствие лесовозных дорог на территории республики вызывают необходимость тщательной экспертизы на «экономическую доступность» лесных ресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Егоров, Н.Е.* Развитие экономики региона на основе формирования инновационно-промышленных кластеров [Текст] / Н.Е. Егоров // Региональная экономика: теория и практика. – 2007. – № 13. – С. 63–67.
2. *Крупчак, В.Я.* Роль лесопромышленного комплекса в региональной экономике [Текст] / В.Я. Крупчак // Проблемы современной экономики. – 2006. – № 2. – С. 111–114.
3. *Мельман, И.В.* Кластерная форма организации лесопромышленных комплексов [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук / И.В. Мельман. – Красноярск: Изд-во СибАУ, 2006. – 23 с.
4. *Ivanov, B.I.* Ecological problems of forest territories reclamation in cryolithozone [Text] / B.I. Ivanov, T.C. Maximov, A.P. Isaev // Proc. of 3<sup>rd</sup> Intern. WS on C/H<sub>2</sub>O/Energy balance and climate over boreal regions with special emphasis on eastern Eurasia. Jan. 29 – Feb. 1, 2007. – Nagoya: Nagoya Univ., 2007. – P. 79–82.

Поступила 20.03.09

*N.E. Egorov<sup>1</sup>, A.P. Isaev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Regional Economics of the North

<sup>2</sup>Institute of Biological Problems of Cryolitezone, Siberian Branch RAS

#### **Formation of Innovation-industrial Cluster of Forest Complex in Sakha Republic (Yakutia)**

Formation of the regional innovation-industrial cluster of the forest complex in Sakha Republic (Yakutia) with active use of research-innovation and educational potential of republic is considered.

Keywords: forestry, forest-industrial complex, innovation-industrial cluster.

---



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.08:662.818

**В.К. Любов, В.В. Горюнов**

Архангельский государственный технический университет

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 170 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.

Тел.: (8182) 21-61-75



Горюнов Василий Васильевич родился в 1985 г., окончил в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики АГТУ. Имеет 2 печатные работы в области рационального использования энергетических топлив.

Тел.: (8182) 21-61-75

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕХА  
ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ**

Проанализированы результаты энергетического обследования основного оборудования и предложены первоочередные мероприятия для комплексного повышения эффективности работы цеха по производству древесных гранул.

*Ключевые слова:* древесные гранулы, топочная камера, древесные отходы, теплогенератор, эмиссия оксидов азота и оксида углерода, пресс-гранулятор, мельница, коэффициент полезного действия, потери теплоты, барабанная сушилка, газоочистная установка.

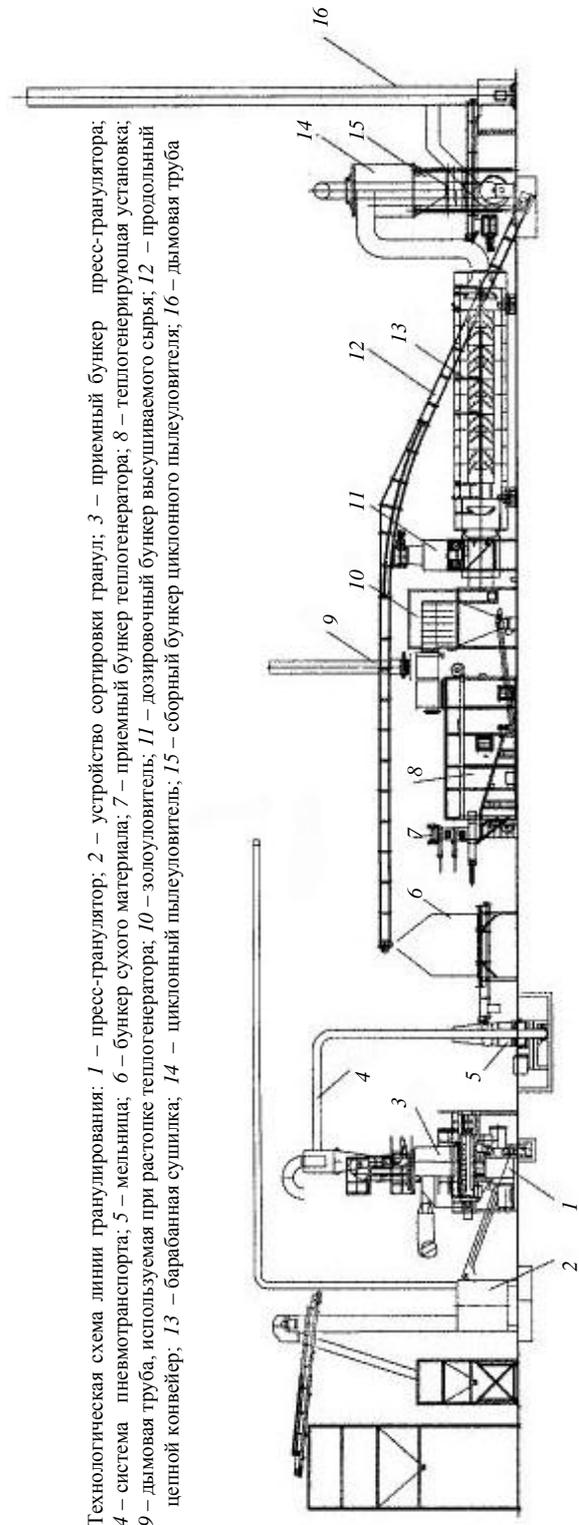
Проблема эффективного сжигания древесины, являющейся самым древним видом топлива, до сих пор остается актуальной во всем мире. Это связано с тем, что для энергетических целей используют неделовую древесину и отходы, образующиеся при ее обработке и переработке и не находящие другого применения. Данные отходы относятся к трудносжигаемым топливам ввиду высокой влажности и крайне неоднородного гранулометрического состава. Перспективным направлением облагораживания отходов является их гранулирование или брикетирование. По этому пути пошли страны Скандинавии, Австрия, Германия, Франция, Италия, Канада и др., где гранулы и брикеты используют как в промышленных котельных, ТЭС, так и в быту. В настоящее время отмечается значительный рост выпуска оборудования для производства гранул.

С начала XXI в. интенсивное производство обогороженного древесного топлива началось и в России, так в 2003–2008 гг. оно выросло более чем в 30 раз. Индустрия производства обогороженного древесного топлива в значительной степени ориентирована на экспорт, так как стоимость гранул, произведенных в РФ, составляет примерно 70...80 €/т (2007 г.), в то время как в Западной Европе – 250...300 €/т.

ЗАО «Лесозавод 25» (г. Архангельск) на протяжении многих лет успешно ведет работы по комплексному повышению эффективности энергетического использования некондиционных древесных отходов. В 2008 г. был реализован очередной этап программы комплексного использования древесного сырья, закончен монтаж и запущен в работу цех по производству древесных гранул из отходов лесопильного производства. В цехе смонтированы две линии (А и В) по производству гранул (см. рисунок) диаметром 8 мм, на каждой из них сушильный агент вырабатывается с помощью теплогенерирующих установок 8, работающих на некондиционных древесных отходах и оборудованных наклонно-переталкивающими решетками.

Существуют две схемы включения теплогенераторов в технологический цикл производства гранул: в первой дымовые газы напрямую поступают в отделение сушки, во второй они проходят через теплообменник, а на сушку сырья подается нагретый воздух. В ЗАО «Лесозавод 25» реализована первая схема.

Обе схемы имеют свои достоинства и недостатки. Так, в первой достигается максимальный температурный напор между продуктами сгорания и высушиваемым сырьем, что повышает эффектив-



Технологическая схема линии гранулирования: 1 – пресс-гранулятор; 2 – устройство сортировки гранул; 3 – приемный бункер пресс-гранулятора; 4 – система пневмотранспорта; 5 – мельница; 6 – бункер сухого материала; 7 – приемный бункер теплогенератора; 8 – теплогенерирующая установка; 9 – дымовая труба, используемая при растопке теплогенератора; 10 – золуловитель; 11 – дозировочный бункер высушиваемого сырья; 12 – продольный цепной конвейер; 13 – барабанная сушилка; 14 – циклонный пылеуловитель; 15 – сборный бункер циклонного пылеуловителя; 16 – дымовая труба

ность сушки. Однако высокая температура дымовых газов создает опасность возникновения пожаров. Кроме того, в процессе теплообмена происходит загрязнение высушиваемого материала золовыми частицами, иногда и частицами сажи, что необходимо учитывать, так как некоторые европейские стандарты ограничивают зольность (на сухую массу) облагороженного древесного топлива до  $A^d \leq 1,0\%$ .

Применение теплообменника для нагрева сушильного агента (воздуха) за счет теплоты продуктов сгорания древесного топлива позволяет устранить опасность возгорания высушиваемого материала и его загрязнения частицами золы и сажи, однако интенсивность сушки резко снижается, так как температура воздуха на входе в сушильную установку обычно не превышает  $150\text{ }^\circ\text{C}$  [1].

При проведении энергетического обследования основного оборудования цеха по производству древесных гранул на ЗАО «Лесозавод 25» в работе находились обе линии, их суммарная производительность изменялась в диапазоне  $6,0 \dots 6,7$  т/ч. Цех оснащен автоматической системой управления процессами технологической схемы, большая часть электропривода имеет частотное регулирование производительности.

Здание цеха (размер в плане  $81,0 \times 29,5$  м) для производства гранул имеет склады топлива (емкость каждого  $V \approx 50\text{ м}^3$ ) и сырья ( $V \approx 50\text{ м}^3$ ). Оба склада оборудованы «живым» дном. Со склада топлива некондиционные древесные отходы цепным конвейером подают в приемные бункера 7 теплогенераторов. Из исходного сырья с помощью вибросита фирмы «Bruks» отделяется крупная фракция, после чего оно транспортируется цепным конвейером в дозировочный бункер 11 ( $V \approx 2\text{ м}^3$ ) сушильных линий. Для обеспечения однородного состава исходного сырья и устранения его зависания бункер оборудован мешалкой с электроприводом. Из бункера сырье дозировочными шнеками подается в смесительные камеры, расположенные перед барабанными сушилками 13.

Топливо с помощью толкателей из вертикального бункера через загрузочное окно, расположенное на фронтальной стене, подается на колосниковую решетку топki теплогенератора. Топочная камера оборудована наклонно-переталкивающей колосниковой решеткой, состоящей из 13 рядов колосников, при этом 6 из них подвижные. Первичный воздух, забираемый из помещения цеха с помощью центробежного вентилятора, который расположен перед фронтальной стеной теплогенератора, поступает под решетку позонно.

Воздух на вторичное дутье также забирается из помещения цеха и с помощью центробежного вентилятора вводится в объем топочной камеры рассредоточено через сопла (12×2 шт.) цилиндрической формы. Сопла расположены на боковых стенах в двух горизонтальных плоскостях (6×2 шт.), находящихся на расстоянии  $\approx 0,2$  м, и направлены встречно. Вторичный воздух обеспечивает дожигание горючих компонент топлива и позволяет минимизировать образование оксидов азота. В топочных камерах теплогенераторов реализована двухступенчатая схема сжигания топлива.

Недалеко от выходного окна топки установлены датчики контроля за температурой продуктов сгорания и разрежением в топочной камере. Через выходное окно газы поступают в камеру догорания, где разворачиваются на  $90^\circ$  и движутся в ее нижнюю часть, в которой совершают поворот на  $180^\circ$  и поступают в смесительную камеру. Для подготовки сушильного агента в смесительную камеру с помощью центробежного вентилятора подают воздух, прошедший по охлаждающим «рубашкам» газохода перед барабанной сушилкой и золоуловителя теплогенератора.

При проведении энергетического обследования температура газов на выходе из топок теплогенераторов составляла  $1120 \dots 1160^\circ\text{C}$  (см. таблицу), их расход для линий А и Б – соответственно  $6062 \dots 6490$  и  $6411 \dots 6726 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температура воздуха, подаваемого в смесительную камеру, –  $91 \dots 102^\circ\text{C}$  (более высокие значения для линии Б).

Очаговые остатки с наклонно-переталкивающей колосниковой решетки поступают в канал поперечного транспортера шнекового типа, после которого их подают на поперечный цепной конвейер, расположенный под золоуловителями 10 (батарейные циклоны) теплогенераторов, и транспортируют в сборный бункер.

Стены топочной камеры выполнены из огнеупорной шамотной обмуровки, для обеспечения требуемой полноты выгорания горючих компонент топлива и уменьшения выноса летучей золы схема включает камеру догорания. Система контроля за температурой обмуровки топочных камер отсутствует. К газоходу, подводящему к золоуловителю дымовые газы, разбавленные воздухом, присоединена индивидуальная дымовая труба 9, которую используют при растопке теплогенератора и в аварийных ситуациях. При выходе теплогенератора на нормальный режим работы ее перекрывают заслонкой с гидравлическим приводом.

Очищенный в батарейном золоуловителе 10, оборудованном 49 циклонными элементами, сушильный агент поступает в смесительный участок газохода перед одноходовой сушилкой барабанного типа, где подхватывает влажное сырье и транспортирует его в сушилку 13 (длина 12,6 м, диаметр 2,8 м). Электропривод сушилки имеет частотное регулирование. Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду сушильная установка снаружи покрыта слоем теплоизоляции (толщина 50 мм) и металлической обшивкой.

При проведении энергетического обследования в топку теплогенераторов подавали древесные отходы, в составе которых преобладала кора (60 %) с добавкой некондиционной щепы (до 40 %). Во всех опытах сжигаемые отходы имели неоднородный гранулометрический состав (средний коэффициент полидисперсности  $n = 0,981$ ; коэффициент, характеризующий крупность состава,  $b = 7,004 \cdot 10^{-6}$ ). Массовая доля, приходящаяся на куски биотоплива размером  $\geq 25$  мм, составляла более 87 %, влажность отходов на рабочую массу  $W_i^r = 47,45$  %, зольность  $A^r = 0,88$  %, низшая теплота сгорания  $Q_i^r = 9,11$  МДж/кг.

## Результаты энергетического обследования линий гранулирования

Показатель	Обозначение, размерность	Линия А		Линия Б	
		1	2	5	6
Производительность теплогенератора	$Q$ , МВт	3,48	3,43	3,64	3,80
Влажность топлива	$W_i^r$ , %	47,45	47,45	47,45	47,45
Зольность топлива	$A^r$ , %	0,88	0,88	0,88	0,88
Низшая теплота сгорания топлива	$Q_{is}^r$ , МДж/кг	9,11	9,11	9,11	9,11
Температура первичного и вторичного воздуха	$t_v$ , °С	18	18	18	18
Температура газов на выходе из топки	$\vartheta_{г}$ , °С	1187	1196	1160	1172
Потери теплоты:					
с химнедожогом	$q_3$ , %	0,69	0,80	0,40	0,93
с мехнедожогом	$q_4$ , %	0,23	0,23	0,23	0,23
от наружного охлаждения	$q_5$ , %	1,80	1,80	1,80	1,80
Полный расход биотоплива	$B$ , т/ч	1,410	1,390	1,471	1,542
Эмиссия NO <sub>x</sub>	мг/МДж	723	754	777	815
Эмиссия СО	мг/МДж	231	246	131	301
КПД брутто топки теплогенератора	$\eta_{бр}$ , %	97,24	97,13	97,53	97,00
Температура газов перед сушилкой	$\vartheta_{суш}$ , °С	551	523	533	543
Избыток воздуха в сушильном агенте	$\alpha_{суш}$	3,82	4,12	4,12	4,12
Расход сушильного агента на 1 кг сырья	$q_1$ , кг	2,42	2,58	2,53	2,50
Разрежение перед сушилкой	$S_{суш}$ , Па	750	700	600	650
Сопротивление барабанной сушилки	$\Delta S_{суш}$ , Па	390	440	500	470
Температура газов за сушилкой	$\vartheta_{ух}$ , °С	74	73	76	79
Избыток воздуха в газах за сушилкой	$\alpha_{ух}$	4,16	4,52	4,29	4,29
Суммарные потери теплоты от наружного охлаждения установки	$q_5$ , %	2,61	2,62	2,54	2,43
Влажность сырья до и после сушилки	$W_i^r$ , %	55,30/11,81	55,30/11,81	55,30/11,76	55,30/11,76
Зольность сырья до и после сушилки	$A^d$ , %	0,07/0,28	0,07/0,28	0,07/0,28	0,07/0,28
Выход летучих веществ на горючую массу до и после сушилки	$V^{daf}$ , %	84,87/84,34	84,87/84,34	84,87/84,2	84,87/84,2
Низшая теплота сгорания сырья до и после сушилки	$Q_i^r$ , МДж/кг	7,11/16,46	7,11/16,46	7,11/16,47	7,11/16,47
Температура газов после пылеуловителя	$\vartheta_{пу}$ , °С	68	67	70	73
Сопротивление пылеуловителя	$\Delta S_{пу}$ , кПа	1,51	1,49	1,62	1,64
Удельный расход условного топлива на 1 т гранул	$v$ , кг у.т./т	135,6	136,4	135,9	137,4
Влажность древесных гранул	$W_i^r$ , %			7,58	
Зольность гранул на сухую массу	$A^d$ , %			0,39	
Выход летучих веществ на горючую массу	$V^{daf}$ , %			83,53	
Кажущаяся плотность	$\rho_k$ , г/см <sup>3</sup>			1,237	
Низшая теплота сгорания гранул	$Q_{is}^r$ , МДж/кг			17,52	

Примечание: 1–5 – номера опытов.

Исходное сырье для производства гранул имело повышенную влажность  $W_i^r = 55,3 \%$ , при этом его зольность  $A^r = 0,03 \%$ , низшая теплота сгорания  $Q_i^r = 7,11$  МДж/кг.

Анализ состояния газовых трактов теплогенераторов и сушильных установок показал, что присосы холодного воздуха на участке от смесительного газохода перед сушилкой до сечения на выходе из барабанной сушилки имеют более высокие значения для линии А ( $\Delta\alpha = 0,34 \dots 0,42$ ), чем для линии Б ( $\Delta\alpha = 0,17 \dots 0,30$ ). Аэродинамическое сопротивление сушильных установок: 390...450 Па – для линии А; 460...500 Па – для Б (см. таблицу). Данное различие объясняется большей производительностью теплогенератора линии Б и соответственно большим объемом сушильного агента в данной линии.

Температура газов перед сушильными установками была достаточно большой ( $\vartheta_{\text{суш}} = 493 \dots 561$  °С), более высокие значения характерны для линии А (см. таблицу). Расход сушильного агента до смесительного газохода перед сушилкой для линии А составлял 14 457...16 635  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , для линии Б – 16 147...21 585  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . Результаты исследования прогрева, воспламенения и горения опилок [2] свидетельствуют о том, что выход летучих веществ начинается при прогреве частиц до температуры 150...170 °С, а при 345 °С скорость выхода летучих имеет максимальное значение. Воспламенение летучих веществ опилок может происходить при температуре  $\approx 240$  °С, поэтому имеющий место уровень температуры газов (493...561 °С) перед сушильными установками не позволяет обеспечить их пожаробезопасность. Процесс сушки исходного сырья (опилок и стружка) сопровождается выходом летучих веществ из наиболее мелких фракций, что создает постоянную угрозу воспламенения высушиваемого материала. Следует обеспечить режимы работы сушильных установок с температурой газов не более 400 °С.

Полный расход древесных отходов на один теплогенератор при проведении балансовых опытов и суммарной производительности линий 6,0...6,7 т/ч (по гранулам) составлял 1,390...1,542 т/ч и имел более высокие значения для линии Б (см. таблицу). При существующей системе автоматического регулирования режимов работы теплогенераторов расчетный расход организованно подаваемого воздуха  $\alpha_{\text{орг}} \approx 1,4$ .

Расчетный расход первичного и вторичного воздуха в топках теплогенераторов изменялся в диапазоне 4 738...5 257  $\text{нм}^3/\text{ч}$  и имел более высокие значения для установки Б. При отсутствии поверхностей нагрева в топках теплогенераторов и умеренной влажности топлива процесс его горения при  $\alpha_{\text{орг}} \approx 1,4$  сопровождался высоким уровнем температур и интенсивным образованием оксидов азота.

Расчетный расход воздуха в камере смешения теплогенератора составлял 7 800...8 500  $\text{нм}^3/\text{ч}$  при условии, что присосы холодного воздуха в газоход и батарейный золоуловитель имеют близкие к нормативным значения.

В сушильных установках 13 барабанного типа влажность исходного сырья снижалась от 55,3 до 11,81 %, при этом количество испаренной влаги с 1 кг сырья  $\Delta W = 0,493$  кг. Расход сушильного агента на 1 кг высушиваемого сырья  $q_1 = 2,345 \dots 2,798$  кг, а количество испаренной влаги  $\sim 1\,627$  кг/ч. Объемный расход отработанного сушильного агента с учетом испаренной влаги изменялся в диапазоне 18 381...25 435  $\text{м}^3/\text{ч}$  и имел более высокие значения для установки Б. В процессе сушки материала температура газов снижалась до  $\vartheta_{\text{yx}} = 73 \dots 79$  °С (см. таблицу). Расчетный расход отработанного сушильного агента хорошо согласуется с результатами экспериментальных замеров.

Высушенное сырье отработанным сушильным агентом транспортируется в циклонный пылеуловитель 14, где оно отделяется от газов и поступает в сборный бункер 15. Отработанный сушильный агент, температура которого снижается до 69...70 °С, дымососом направляется в индивидуальную трубу 16 (высота 24 м).

Исследование гранулометрического состава высушенного сырья свидетельствует о том, что степень его однородности повышается ( $n = 1,481 \dots 1,568$ ), что объясняется двумя факторами: отделением крупной фракции с помощью вибросортировки и уносом наиболее тонкой фракции в дымовую трубу. Кроме того, в процессе сушки происходит увеличение зольности сырья ( $A^d = 0,28$  %) за счет летучей золы, вносимой сушильным агентом в материал, и уменьшение содержания летучих веществ, теряемых материалом в процессе сушки. При этом зольность древесного сырья на сухую массу увеличивалась примерно в 4 раза, это увеличение было бы еще более существенным, если бы циклонный пылеуловитель задерживал частицы летучей золы размером менее 125 мкм.

Повышенный расход первичного и вторичного воздуха в топочные камеры теплогенераторов снижал время пребывания продуктов горения в топочном объеме, однако концентрация оксида углерода имела умеренные значения ( $K_{\text{CO}} = 316 \dots 830$   $\text{мг}/\text{м}^3$  при концентрации кислорода  $K_{\text{O}_2} = 6$  %) и не превышала допустимых пределов. Оптимизация подачи первичного и вторичного воздуха откроет дополнительные возможности по снижению выбросов оксидов азота и угарного газа.

Потери теплоты с химическим недожогом топлива  $q_3$  в исследованном диапазоне нагрузок составили 0,40...1,45 % (см. таблицу) и не превышали допустимых значений. КПД брутто топочных камер теплогенераторов  $\eta_{\text{топ}}$  изменялся в диапазоне 96,48...97,53 %. При определении  $\eta_{\text{топ}}$  учитывали потери теплоты от химического и механического недожога, с физической теплотой шлака и провала, а также часть суммарной потери теплоты от наружного охлаждения ( $q_5^* \approx 1,8$  %), приходящейся на топочную камеру теплогенератора ( $\eta_{\text{топ}} = 100 - q_3 - q_4 - q_5^* - q_6$ ).

Сопротивление теплогенераторов и элементов сушильных трактов зависит от их нагрузки, характеристик сжигаемого топлива и сырья, поступающего на сушку. При проведении балансовых опытов суммарное

сопротивление теплогенератора с элементами сушильного тракта изменялось в диапазоне 2,53...2,70 кПа. При этом нагрузка дымососов и вентиляторов смесительных камер составляла 100 %, сушильных барабанов – 50 %, вентиляторов первичного и вторичного воздуха – соответственно 60...80 и 60...70 %. Сопротивление отдельных элементов, Па: 520...670 – теплогенератор с батарейным золоуловителем; 390...500 – барабанная сушилка; 1 490...1 640 – циклонный пылеотделитель.

Отсутствие средств контроля за составом газов на выходе из теплогенераторов затрудняет настройку режимов горения в их топочных камерах.

Анализ уровня скоростей сушильного агента показал, что средняя скорость газа по длине барабанной сушилки изменялась в диапазоне  $W_r = 1,73...1,98$  м/с; а в газоходе после циклонного пылеотделителя – 13,10...13,70 м/с.

Результаты исследования гранулометрического состава очаговых остатков теплогенераторов и летучей золы, отобранной из дымовой трубы, косвенно свидетельствуют о невысокой сепарационной способности батарейных циклонов. Содержание горючих веществ в летучей золе, отобранной из дымовой трубы, составило  $C_{ун}^r = 3,53$  %.

Концентрация твердой фазы в отработанном сушильном агенте после циклонных пылеуловителей – 7,13...8,50 г/м<sup>3</sup>. При этом расчетная степень очистки газов в пылеуловителях составила 95,48...96,21 % и имела более высокие значения для линии А.

Для обеспечения высокого уровня очистки продуктов сгорания необходимо обеспечить постоянный контроль за плотностью золоуловителей и циклонных пылеотделителей, а также мест присоединения их выпускных устройств к транспортерам.

Анализ условий тепловой работы теплогенераторов и сушильных установок показал, что потери теплоты с уходящими газами, если использовать при их определении подход, принятый для котельных установок, составляют 13,27...15,95 % (с учетом энтальпии водяных паров, выделившихся при сушке сырья). В качестве балансового сечения использовали сечение газохода после сушильной установки, где коэффициент избытка воздуха  $\alpha_{yx}$  изменялся в диапазоне 4,16...5,83 (см. таблицу).

Потери теплоты с механической неполнотой сгорания для теплогенераторов  $q_4 \approx 0,23$  %. Низкий уровень данной потери объясняется наличием системы позонного распределения воздуха, ступенчатой схемы подачи окислителя и умеренной зольностью древесного топлива, что обеспечило высокую полноту выгорания углеродной основы топлива ( $C_{шт}^r = 4,8$  %,  $C_{ун}^r = 10,9$  %).

Потери с физической теплотой шлака не превышали  $q_6 \leq 0,04$  %.

Для теплогенератора потери теплоты от наружного охлаждения  $q_5 \approx 1,80$  %, а для всей установки, включая батарейный циклон, газоходы и барабанную сушилку,  $q_5 = 2,43...2,62$  % (см. таблицу). При обработке результатов балансовых опытов потери теплоты от наружного охлаждения установок определяли с учетом температур ограждающих их конструкций и окружающей среды.

КПД брутто теплогенераторов и сушильных установок (с учетом батарейных циклонов и соединительных газоходов), если при его определении использовать метод обратного баланса и подход, принятый для котельных установок, изменялся в диапазоне 79,77...83,16 %.

Если при определении КПД брутто установки, включающей теплогенератор, батарейный циклон, сушильную установку и соединительные газоходы, считать полезно используемой теплоту, затраченную на нагрев древесного сырья и испарение из него влаги, а подведенной теплотой – располагаемую теплоту древесных отходов, поступающих в топку теплогенератора, с учетом их расхода, то КПД брутто такой установки составит 30,93...34,31 %.

Удельный расход условного топлива на выработку 1 т гранул варьировал от 135,56 до 140,16 кг у.т/т гранул (см. таблицу).

Повышенные значения эмиссий оксидов азота ( $\Theta_{\text{NO}_x} = 0,708...0,815$  г/МДж) объясняются высокими избытками воздуха в топочных камерах теплогенераторов. Наладка топочного процесса с обеспечением приемлемых значений коэффициентов избытка воздуха позволит снизить эмиссии оксидов азота.

Диапазон изменения эмиссий монооксида углерода при проведении балансовых опытов составил 0,131...0,336 г/МДж, что является допустимым. Однако режимными методами можно снизить выбросы угарного газа и повысить экономичность процесса в целом.

Проведенные исследования показали, что теплогенераторы способны обеспечивать не только номинальную (3,5 МВт), но и более высокую мощность при характеристиках биотоплива, имевших место в период обследования (см. таблицу).

Высушенное сырье (влажность 11,76...11,81 %) из бункеров циклонных пылеотделителей шнековыми питателями подается на поперечный цепной конвейер закрытого типа, с которого поступает на продольный цепной конвейер 12 и транспортируется в бункер сухого материала 6 ( $V \sim 80$  м<sup>3</sup>) с «живым» дном. Далее сухой материал с помощью шнеков подается в бункер ( $V \sim 2$  м<sup>3</sup>) мельницы 5, оборудованный измерителем уровня. При входе в мельницу материал проходит магнитный сепаратор, обеспечивающий удаление металла, и фильтр-ловушку для удаления инородных примесей.

В мельнице, оборудованной сетками (2 шт.) с размером ячеек 6 мм, происходит измельчение материала. Мельница оснащена системой контроля температуры подшипников и температуры в ее камере, которая при проведении обследования составляла 42 °С.

Исходное древесное сырье после сушки ( $W^r < 15$  %) и тонкого измельчения принято называть мукой. Из мельницы древесная мука поступает в систему пневмотранспорта 4, расход воздуха в которой составлял 15 092 м<sup>3</sup>/ч, его скорость – 28,5 м/с при температуре 34,5 °С. Пневмотранспорт муки осуществляется с помощью вентилятора, а ее отделение от транспортирующего агента производится с помощью циклонов НЕКС 1120, НЕКС 800 и фильтра НЕКЗ×3 фирмы «Хекотек».

Отсепарированная мука с помощью цепного конвейера подается в приемные бункера 3 ( $V \sim 1,5 \text{ м}^3$ ) пресс-грануляторов, оборудованные измерителями уровня. Из приемных бункеров мука шнековыми питателями подается в смесительные камеры, где увлажняется паром. Расход пара зависит от температуры муки и ее влажности. Увлажненная древесная мука поступает в рабочую камеру пресс-гранулятора 1, где она продавливается через радиальные отверстия матрицы с помощью прижимающих роликов (с водяным охлаждением), что приводит к формированию гранул. Выходящие из отверстий матрицы гранулы обламываются с помощью неподвижного ножа, падают вниз и выводятся из пресс-гранулятора.

На выходе из пресса гранулы имеют высокую температуру, поэтому цепным конвейером, оборудованным вентилятором для его очистки, они направляются с помощью элеватора в охлаждающую установку, где происходят физико-химические изменения, в результате которых гранулы приобретают необходимую прочность. В процессе охлаждения снижается их влажность до необходимых значений. Режим охлаждения гранул определяет их прочностные свойства. Обычно из охлаждающей установки вместе с охлаждающим агентом выводится и часть несгранулированной муки, которая осаждается в циклоне.

После охлаждения гранулы с помощью цепного конвейера подаются на сортировку 2, где происходит отделение кондиционных гранул от крошки, которая, как и несгранулированная мука, возвращается в технологический цикл. После сортировки готовые гранулы поступают на склад.

Исследования теплотехнических характеристик древесных гранул показали, что они соответствуют требованиям зарубежных стандартов: DIN 51731, DINplus (Германия), O-Norm M 7135 (Австрия), SS 187120 (Швеция).

Для поддержания высоких технико-экономических и экологических показателей работы линий гранулирования, а также обеспечения их пожарной безопасности необходимо организовать периодический контроль плотности всех элементов газового тракта и систем золо- и пылеулавливания, а также регулярную уборку производственных помещений.

Первоочередные мероприятия для дальнейшего комплексного повышения эффективности работы цеха по производству гранул:

- 1) обеспечение режимов работы сушильных установок с температурой газов на входе в них не более  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , что позволит устранить угрозу воспламенения высушиваемого материала;
- 2) за счет дополнительной оптимизации топочного процесса в теплогенераторах обеспечить снижение эмиссий оксидов азота и угарного газа;
- 3) дополнить систему автоматического регулирования теплогенераторов анализатором, фиксирующим содержание монооксида углерода в сушильном агенте;
- 4) провести аэродинамическую оптимизацию узла входа отработанного сушильного агента в дымовую трубу с теплоизоляцией ее стенок; выполнить тепловую изоляцию корпуса пылеуловителя;

5) при проведении работ по увеличению мощности цеха, выпускающего гранулы, проработать вопрос применения диспергатора.

Реализация программы комплексного использования древесного сырья в ЗАО «Лесозавод 25» позволила полностью утилизировать все виды отходов, образующихся при обработке древесины, обеспечить на их основе комбинированную выработку тепловой и электрической энергии и производство экологически чистого высококалорийного топлива – древесных гранул, а также повысить культуру производства и получить дополнительную прибыль.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесная биоэнергетика [Текст]: учеб/ пособие /Ю.П. Семенов [и др.]. – М.: Изд-во МГУЛ, 2008. – 348 с.

2. Любов, В.К. Энергетическое использование биотоплива [Текст]: учеб. пособие / В.К. Любов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 156 с.

Поступила 30.12.08

*V.K. Lyubov, V.V. Goryunov*  
Arkhangelsk State Technical University

#### **Survey Results of Operation Efficiency of Wood Pellets Plant**

Results of energy survey of the main equipment are analyzed and priority measures for comprehensive increase of the operation efficiency of wood pellets plant are offered.

Keywords: wood pellets, combustion chamber, wood wastes, heat-generator, nitrogen and hydrogen oxides emission, press-pelletizer, mill, coefficient of efficiency, heat losses, drum dryer, gas-cleaning device

