

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

4

2003

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

---

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4

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

---

Сдан в набор 01.09.2003. Подписан в печать 14.10.2003.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,35. Усл. кр.-отт. 14,35.  
Уч.-изд. л. 17,27. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 28 07 18,  
факс: (818-2) 28 07 14, e-mail: forest@agtu.ru http://lesnoizhurnal.agtu.ru

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

<i>Н.П. Чупров.</i> Динамика лесного фонда Архангельской области за 48 лет.....	7
<i>Е.Н. Наквасина.</i> Закономерности географической изменчивости сосны обыкновенной в опытах на Европейском Севере России .....	14
<i>А.П. Максименко.</i> Пригодность почв восточного Приазовья для лесоразведения.....	19
<i>Н.С. Минин.</i> Динамика роста лучших деревьев в сосняках искусственного происхождения под влиянием рубок ухода .....	25
<i>С.Ю. Кондаков.</i> Оптимальные сроки проведения профилактических опрыскиваний в лесных питомниках .....	30

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

<i>П.М. Мазуркин, Э.Н. Бедертдинов, П.А. Перов.</i> Оценка и прогноз качества лесной территории .....	33
<i>В.Н. Шиловский.</i> Математическая модель оптимизации объемов поставок и распределения запасных частей между территориально разобщенными потребителями.....	42
<i>А.М. Краснов.</i> Об использовании мелкозернистого песчаного бетона в строительстве сборных покрытий автомобильных дорог.....	48
<i>П.Ф. Войтко, [А.С. Фадеев].</i> Математические модели формирования лесных грузов гравитационными торцевыравнивателями.....	56
<i>Ю.А. Ширнин, Е.М. Онучин.</i> Имитационное моделирование движения многооперационной лесной машины .....	65

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>Г.Ф. Прокофьев, И.С. Лобанова.</i> Влияние вальцевания полосовых пил на жесткость их поперечного сечения .....	72
<i>С.В. Мельгунов, А. Г. Лапкаев.</i> Пожароопасность деревообрабатывающих предприятий Красноярского края .....	77
<i>С.М. Султсон, Е.В. Харук, Г.С. Ковригин.</i> Строение древесины сосны обыкновенной ( <i>Pinus silvestris</i> L.) в Восточной Сибири .....	81
<i>Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина.</i> Расчет проницаемости древесины защитными препаратами при избыточном давлении .....	85

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

<i>В.В. Коньшин, А.А. Беушев, В.Г. Шабалин, Н.А. Чемерис, М. М. Чемерис.</i> Исследование реакции ацилирования лигноцеллюлозных материалов смесью карбоновой кислоты – тионилхлорид – трифторуксусная кислота.....	92
--	----

---

---

<i>Э.И. Гермер.</i> Химизм делигнификации при органосольвентных варках .....	99
<i>Е.А. Покусаева, Е.В. Новожилов.</i> Влияние различных факторов на десульфитацию сульфитного шелока в процессе перещелачивания .....	108
<i>К.Г. Боголицын, Д. С. Косяков, А. Н. Шкаев, А.С Почтовалова.</i> Высокоэффективная жидкостная хроматография фенольных компонентов сточных вод ЦБП.....	116
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>А.Ю. Харитонов, А. В. Пластинин.</i> Применение метода реальных опционов для оценки стоимости бизнеса лесопромышленных предприятий .....	123
<i>МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ</i>	
<i>О.М. Соколов, А.Л. Невзоров, Ю.А. Варфоломеев, А.Н. Федотов.</i> Формирование в Архангельском государственном техническом университете строительных династий и научных школ .....	130
<i>Е.С. Романов.</i> Институциональная экономика: от теории к практике .....	140
<i>КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ</i>	
<i>А.В. Питухин.</i> Читательская конференция «Лесного журнала» в Карелии.....	148

---

---



## CONTENTS

## FORESTRY

<i>N.P. Chuprov.</i> Dynamics of Forest Stock of Arkhangelsk Region over 48 Years.....	7
<i>E.N. Nakvasina.</i> Geographical Variability Regularities of Scots Pine in Provenance Tests in the European North of Russia.....	14
<i>A.P. Maksimenko.</i> Eastern Azov Soils Suitability for Afforestation.....	19
<i>N.S. Minin.</i> Growth Dynamics of Best Trees in Pine Stands of Artificial Origin under Thinning Influence.....	25
<i>S.Yu. Kondakov.</i> Optimal Terms of Holding Preventive Spraying in Forest Nurseries.....	30

## WOODEXPLOITATION

<i>P.M. Mazurkin, E.N. Bedertdinov, P.A. Perov.</i> Assessment and Forecast of Forest Area Quality.....	33
<i>V.N. Shilovsky.</i> Mathematical Model of Supplies Volume Optimization and Spare Parts Distribution among Territorially Scattered Customers.....	42
<i>A.M. Krasnov.</i> On Use of Fine-aggregate Sandy Concrete in Construction of Precast Coating of Motor Roads.....	48
<i>P.F. Voitko, A.S. Fadeev.</i> Mathematical Models of Forest Cargo Formation by Gravitational Trimmers.....	56
<i>Yu.A. Shirnin, E.M. Onuchin.</i> Simulation of Movement of Multiple-function Logging Machine.....	65

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>G.F. Prokofjev, I.S. Lobanova.</i> Influence of Strip Saws Milling on their Cross-section Hardness.....	72
<i>S.V. Melgunov, A. G. Lapkaev.</i> Fire Risk of Wood-working Enterprises of Krasnoyarsk Kraj.....	77
<i>S.M. Sultson, E.V. Kharuk, G.S. Kovrigin.</i> Wood Structure of Scots Pine ( <i>Pinus silvestris</i> L.) in Eastern Siberia.....	81
<i>Yu.A. Varfolomeev, L. A. Badanina.</i> Calculation of Permeability by Protective Agents under Excessive Pressure.....	85

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.V. Konshin, A.A. Beushev, V. G. Shabalin, N. A. Chemeris, M. M. Chemeris.</i> Investigation of Acidification Reaction of Lignocellulose Materials by Mixture of Carboxylic acid - thionyl chloride - trifluoroacetic acid.....	92
<i>E.I. Germer.</i> Chemistry of Delignification under Organosolv Cooking.....	99
<i>E.A. Pokusaeva, E. V. Novozhilov.</i> Influence of Different Factors on Desulphitation of Sulphite Liquor in the Process of Superneutralization.....	108

---

---

<i>K.G. Bogolitsyn, D.R. Kosyakov, A.N. Shkaev, A.S. Pochtovalova.</i> High-performance Liquid Chromatography of Phenolic Components of PPI Effluents.....	116
--	-----

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

<i>A.Yu. Kharitonov, A.V. Plastinin.</i> Use of Real Options Method for Business Value Assessment of Forest-industrial Enterprises.....	123
---	-----

*METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING*

<i>O.M. Sokolov, A.L. Nevzorov, Yu. A. Varfolomeev, A. N. Fedotov.</i> Formation of Building Dynasties and Scientific Schools at Arkhangelsk State Technical University.....	130
<i>E.S. Romanov.</i> Institutional Economics: from Theory to Practice.....	140

*SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES*

<i>A.V. Pitukhin.</i> Readers' Conference of "Lesnoj Zhurnal" in Karelia.....	148
---	-----

---

---



УДК 630\*905.2

**Н.П. Чупров**

Чупров Николай Прокопьевич родился в 1931 г., окончил в 1954 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экономики и организации лесного хозяйства СевНИИЛХа, член-корреспондент РАЕН, заслуженный лесовод России. Имеет более 160 печатных работ в области экономики лесного хозяйства и лесной промышленности, лесопользования и лесной таксации.

**ДИНАМИКА ЛЕСНОГО ФОНДА  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 48 ЛЕТ**

Показана динамика лесов области в связи с естественным ростом и хозяйственным воздействием: по назначению, категориям земель, преобладающим породам, возрастным категориям и продуктивности лесов на основе материалов учета лесного фонда. Дана критическая оценка данных.

Ключевые слова: динамика, естественный рост, хозяйственное воздействие, лесной фонд.

Важным показателем лесозэксплуатации и ведения лесного хозяйства является динамика лесного фонда. Ее анализ позволяет в определенной мере судить и о будущем изменении лесов, корректировать лесопользование и лесовыращивание.

Динамика лесного фонда области за последние 48 лет проанализирована по материалам учета на 1 января 1951, 1956, 1961, 1966, 1970, 1973, 1978, 1983, 1988, 1993, 1998, 1999 гг. За этот период вырублены спелые, большей частью хвойные, леса на площади 6,5 млн га с запасом древесины 970 млн м<sup>3</sup>.

На части вырубок проведены лесовосстановительные работы и другие лесохозяйственные мероприятия. В гослесфонде области заложены, по отчетным данным, 1878 тыс. га лесных культур, сохранено при рубках 1370 тыс. га хвойного подроста, проведено лесосушение на площади 360 тыс. га. Выполнялись также содействие естественному возобновлению, рубки ухода и др. В результате изменились показатели лесного фонда.

Динамика лесов по назначению. За рассматриваемый период значительно изменилось соотношение площадей лесов I и III групп. Так, доля лесов I группы, главным образом в связи с выделением притундровых лесов, дополнительных запретных полос вдоль водоемов, зеленых зон около населенных пунктов, национальных парков из лесов III группы, а также пе-

реносом в последние годы всех запретных нерестовоохранных и защитных полос из III группы в I, увеличилась с 0,2 % в 1951 г. до 25,6 % - в 1999 г. Одновременно в период 1970–1999 гг. площадь притундровой климатозащитной полосы уменьшилась от 15,5 до 14,4 % в связи с передачей части площадей в долгосрочное пользование.

Соответственно доля лесов III группы снизилась с 99,8 % в 1951 г. до 74,4 % в 1999 г. В связи с выделением в особую группу лесов, недоступных и непригодных к эксплуатации, имеющих низкие запасы на 1 га, в составе лесов III группы значительно уменьшилась доля лесов, возможных для эксплуатации (с 96,7 до 56,8 %), что следует признать правомерным. Одновременно большая часть лесов I группы отнесена к неэксплуатационным, в том числе все притундровые леса и часть запретных полос (табл. 1, данные приведены с сокращением по годам на 01.01). Леса II группы (в основных лесоэксплуатационных районах) до сих пор не выделены.

Таблица 1

**Распределение общей площади гослесфонда по группам и категориям лесов**

Группа и категория лесов	1951 г.		1966 г.		1988 г.		1999 г.	
	тыс. га	%						
I группа:								
Зеленые зоны	42	0,2	279	1,0	263	1,0	248	0,9
Запретные полосы:								
нерестовоохранные	–	–	–	–	–	–	2267	8,4
около водоемов	–	–	1421	5,2	2338	9,1	291	1,1
Защитные полосы								
вдоль дорог	20	–	101	0,4	145	0,6	146	0,5
Притундровые леса	–	–	4273	15,8	2482	9,7	3856	14,4
Прочие леса	1	–	38	0,1	–	–	85	0,3
Всего	63	0,2	6112	22,5	5228	20,4	6894	25,6
Из них возможные для эксплуатации	–	–	–	–	3483	13,6	420	1,6
III группа:								
Эксплуатируемые	25 349	96,7	17 056	62,7	15 166	59,3	15 339	56,8
Резервные	–	–	4031	14,8	–	–	–	–
Недоступные и неэксплуатируемые	–	–	–	–	–	–	–	–
Спецзоны и спецполосы	–	–	2	–	–	–	35	0,1
Полосы вдоль нерестовых рек	738	2,8	5	–	–	–	–	–
Защитные полосы	84	0,3	–	–	–	–	–	–
Всего	26 171	99,8	21 094	77,5	20 342	79,6	20 085	74,4
Из них возможные для эксплуатации	25 349	96,7	21 087	77,5	15 166	59,3	15 339	56,8
Всего леса I и III групп	26 234	100	27 206	100	25 570	100	26 979	100
Из них возможные для эксплуатации	25 349	96,7	21 087	77,5	18 649	72,9	15 759	58,4
Переданные в долгосрочное пользование	–	–	8	–	1 798	–	–	–

Таблица 2

**Распределение общей площади гослесфонда по категориям земель  
(леса I и III групп)**

Категория земель	1951 г.		1966 г.		1988 г.		1999 г.	
	млн га	%						
Лесная:								
покрытая лесом	18,2	69,5	19,3	71,0	19,0	74,2	20,2	74,9
несомкнувшиеся лесные культуры	–	–	0,2	0,7	0,3	1,2	0,2	0,7
не покрытая лесом	2,0	7,6	1,3	4,6	0,7	2,7	0,2	0,7
<b>Всего</b>	<b>20,2</b>	<b>77,1</b>	<b>20,8</b>	<b>76,3</b>	<b>20,0</b>	<b>78,1</b>	<b>20,6</b>	<b>76,3</b>
Нелесная:								
угодья	0,6	2,3	0,4	1,4	0,4	1,6	0,4	1,5
площади особого назна- чения	–	–	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4
неиспользуемые площади	5,4	20,6	5,9	21,9	5,1	19,9	5,9	21,8
<b>Всего</b>	<b>6,0</b>	<b>22,9</b>	<b>6,4</b>	<b>23,7</b>	<b>5,6</b>	<b>21,9</b>	<b>6,4</b>	<b>23,7</b>
Общая площадь	26,2	100	27,2	100	25,6	100	27,0	100
Переданные в долгосроч- ное пользование	–	–	–	–	1,8	–	–	–

Динамика лесов по категориям земель. Доля лесопокрытой площади гослесфонда за рассматриваемый период увеличилась с 69,5 до 74,9 %, главным образом за счет естественного возобновления и частично — лесных культур.

Соответственно с 7,6 до 0,7 % уменьшилась доля не покрытых лесом площадей. Процент нелесной площади незначительно возрос (с 22,9 до 23,7 %) в основном за счет неиспользуемых площадей (табл. 2).

Распределение лесопокрытой площади по преобладающим породам. За рассматриваемый период доля хвойных лесов области в связи со сменой пород уменьшилась от 93,1 до 82,6 % (на 10,5 %). Однако фактическое увеличение доли лиственных лесов значительно больше, так как в настоящее время к хвойным молоднякам и средневозрастным насаждениям отнесены лиственные, в составе которых имеется хотя бы 30 ... 40 % хвойных. В результате такого учета доля лиственных молодняков заметно занижена, а хвойных — завышена. Эти данные не отражают действительного изменения породного состава лесов (табл. 3).

Об интенсивности смены пород в результате рубок и пожаров в области в целом можно судить приблизительно по данным учета на 01.01.99 в лесах III группы (табл. 4).

Эти молодые насаждения явились следствием рубки и отчасти пожаров в сосняках и ельниках за последние 40 лет. Березовые и осиновые молодняки возникли в основном в результате рубки и пожаров в хвойных лесах, так как древостой с преобладанием лиственных использовались очень мало. Анализ данных о ходе возобновления на вырубках и гарях, а также материалы лесоустройства показывают, что вырубаемые площади сосняков

Таблица 3

**Динамика распределения лесопокрытой площади  
по преобладающим породам и группам возраста**

Год учета	Преобладающие породы	Покрытая лесом площадь,		Площадь по группам возраста, тыс. га						
		тыс. га	%	Молодняки		Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные		
				I класса	II класса			Всего	Перестойные	
1951	Хвойные	16 889	93,1	220	262	572	1141	14 694	87,0	–
	Лиственные	1 244	6,9	211	193	160	131	549	44,1	–
	Итого	18 133	100	431	455	732	1272	15 243	84,1	–
1966	Хвойные	17 078	88,4	748	706	1139	714	13 771	80,6	9 927
	Лиственные	2 247	11,6	531	433	563	88	632	28,1	479
	Итого	19 325	100	1279	1139	1702	802	14 403	74,5	10 406
1988	Хвойные	16 299	85,8	1640	1375	1773	550	10 961	67,2	7 454
	Лиственные	2707	14,2	744	567	836	141	418	15,4	226
	Итого	19 006	100	2384	1942	2609	691	11 379	59,9	7 680
1999	Хвойные	16 656	82,6	1561	1602	1988	587	10 918	65,6	7 333
	Лиственные	3 501	17,4	742	743	1296	199	521	14,9	264
	Итого	20 157	100	2303	2345	3284	786	11 439	56,8	7 597

Таблица 4

**Распределение площади насаждений до 40 лет по преобладающим породам**

Преобладающая порода	Площадь по 10-летним классам возраста, тыс. га				
	I	II	III	IV	Всего
Сосна	205	206	413	416	1240
Ель	574	574	388	388	1924
Береза	713	706	418	418	2255
Осина	29	36	21	20	106
Итого	1521	1522	1240	1242	5525

возобновляются в основном с преобладанием сосны. Смена на лиственные в них происходит примерно на 20 % площади. Иными словами, примерно 1240 тыс. га имеющихся сейчас сосновых молодняков до рубки были заняты сосной. Кроме того, примерно 250 тыс. га лиственных, в основном березняков, также были заняты сосной. В целом площадь сосняков до рубки составляла 1490 тыс. га. Оставшаяся площадь березняков и осинников (2111 тыс. га), как и имеющихся на момент учета ельников (1924 тыс.га), до рубки и пожаров была занята елью ( в сумме 4035 га).

Исходя из этого, можно заключить, что площадь ельников уменьшилась с 4035 до 1924 тыс. га, т. е. около 48 % площади вырубленных и пройденных пожаром ельников возобновилось с преобладанием ели и 52 % — лиственными, в том числе 50 % — березой и 2 % — осинной. Приведенные данные об интенсивности смены пород меньше фактических, поскольку, как указывалось ранее, площадь наличных лиственных молодняков при учете лесного фонда занижена.

Возрастное распределение лесов. С 1951 г. по 1999 г. существенно изменилось соотношение молодняков, средневозрастных и спелых

насаждений. В результате интенсивных рубок доля спелых лесов уменьшилась с 84,1 до 56,8 %, т. е. на 27,3 %, приспевающих — с 7,0 до 3,9 %, почти вдвое. В 4 раза (с 4,0 до 16,3 %) увеличилась доля средневозрастных древостоев. Резко возрос процент молодняков I-II классов возраста — с 4,9 до 23,1 (см. табл. 3).

Динамика запасов древесины. Простое сравнение общих запасов древесины на момент учета не дает правильного представления об их изменении (табл. 5). Оно показывает увеличение общих запасов и очень незначительное уменьшение запасов древесины в спелых лесах. На самом же деле положение иное. Дело в том, что по ряду лесхозов, расположенных на севере и северо-востоке Архангельской области, при учете лесов на 01.01.51 были использованы материалы дореволюционного устройства, а также аэровизуального обследования и аэротаксации. В результате запасы древесины оказались значительно заниженными. В дальнейшем, по мере проведения наземных учетов, запасы были уточнены и больше отвечали действительности, хотя всегда существовала отмеченная тенденция. Кроме того, были изменены площади лесов гослесфонда. При последнем учете запас на 1 га в спелых лесах был установлен в размере 138 м<sup>3</sup>, т. е. выше данных учета 1951 г.

Таблица 5

## Динамика площади и запасов древесины

Год учета	Лесная площадь, тыс. га	Площадь спелых лесов, тыс. га	Средний запас на 1 га спелых лесов, м <sup>3</sup>	Запас древесины, млн м <sup>3</sup>	
				общий	в том числе спелых лесов*
1951	20 152	15 243	115	1928	1748
1966	20 758	14 403	135	2255	1939
1988	20 013	11 379	139	2029	1581
1999	20 573	11 439	138	2122	1577

\* Откорректированный запас в 1951 г. — 1956 млн м<sup>3</sup>.

Исходя из указанных особенностей, запас спелых и перестойных лесов на момент первых учетов (1951 г.) откорректирован в целях хотя бы приблизительной оценки действительной динамики спелых лесов. Для этого, во-первых, лесная площадь на момент начальных учетов была принята одинаковой с площадью последнего учета. Площадь спелых лесов также откорректирована по проценту изменения лесной площади. Во-вторых, поскольку средний запас на 1 га спелых лесов последним учетом лесного фонда установлен более точно в сравнении с данными учета на 1951 г. и за сравнительно короткий промежуток времени не мог измениться (в спелых и перестойных лесах), по этим уточненным данным подсчитан общий запас спелых лесов на момент первых учетов (табл. 5). Сравнение откорректированных запасов спелых лесов показывает, что за 48 лет они уменьшились на 379 млн м<sup>3</sup> (на 19 %). Фактическое же снижение больше, так как вырубались в основном наиболее продуктивные леса. Поэтому и запас на 1 га спелых лесов в прошлом был несколько выше, чем сейчас.

Динамика продуктивности лесов. За рассматриваемый период средний запас на 1 га лесов в целом остался практически на одном уровне (105...107 м<sup>3</sup>), в спелых же лесах он заметно возрос (со 115 до 138 м<sup>3</sup>). Средний прирост древесины на 1 га увеличился с 0,8 до 1,0 м<sup>3</sup> (табл. 6). Однако эти данные не отражают фактического изменения продуктивности лесов, что также вызвано низкой точностью учета лесов в прошлом.

Таблица 6

**Динамика запасов и приростов древесины**

Год учета	Средний запас на 1 га (числитель) и средний прирост на 1 га (знаменатель) для лесов в целом, м <sup>3</sup>			Средний запас на 1 га спелых лесов, м <sup>3</sup>		
	Хвойные	Лиственные	Итого	Хвойные	Лиственные	Итого
1951	110 / 0,8	55 / 1,1	107 / 0,8	116	91	115
1966	124 / 1,0	53 / 1,2	117 / 1,1	135	113	134
1988	116 / 1,0	50 / 1,4	107 / 1,0	140	121	139
1999	110 / 0,9	60 / 1,9	105 / 1,0	138	134	138

Как правило, запас и прирост на 1 га занижались, в результате имеется мнимый рост продуктивности. Это подтверждает и тот факт, что в прошлые десятилетия вырубались в основном лучшие спелые леса с более высоким запасом на 1 га. Поэтому средний запас на 1 га спелых лесов мог несколько понизиться, но не повыситься, как показывают данные учета лесного фонда. Конечно, в молодняках и лиственных лесах, появившихся в результате рубок этого периода, средний прирост выше, чем в спелых, что показывают и данные табл. 6. Однако в целом доля их в сравнении с хвойными сравнительно невелика, и решающего влияния на увеличение среднего прироста всех лесов они не оказали.

Динамика общего среднего прироста древесины в лесах области приведена в табл. 7.

Таблица 7

**Динамика общего среднего прироста**

Год учета (на 01.01)	Хозяйство	Прирост, млн м <sup>3</sup>								
		общий по группам лесов			в лесах, возможных для эксплуатации					
		И	Ш	Итого	общий			общий ликвидный		
		И	Ш	Итого	И	Ш	Итого	И	Ш	Итого
1978	Хвойное	2,4	13,9	16,3	0,4	13,6	14,0	0,3	12,3	12,6
	Лиственное	0,3	2,9	3,2	0,1	2,8	2,9	0,1	2,5	2,6
	Итого	2,7	16,8	19,5	0,5	16,4	16,9	0,4	14,8	15,2
1988	Хвойное	3,2	12,9	16,1	2,9	11,9	14,8	2,6	10,7	13,3
	Лиственное	0,5	3,4	3,9	0,5	3,3	3,8	0,5	3,0	3,5
	Итого	3,7	16,3	20,0	3,4	15,2	18,6	3,1	13,7	16,8
1999	Хвойное	3,7	13,2	16,9	0,5	12,8	13,3	0,5	11,5	12,0
	Лиственное	0,7	5,2	5,9	0,1	5,2	5,3	0,1	4,7	4,8
	Итого	4,4	18,4	22,8	0,6	18,0	18,6	0,6	16,2	16,8

В настоящее время общий средний прирост древесины в лесах всех групп и категорий области равен 22,8, в том числе в хвойных лесах –16,9 млн м<sup>3</sup> (74,1 %). В лесах I и III групп, возможных для эксплуатации, общий средний прирост древесины равен 18,6 млн м<sup>3</sup>, или 81,6 % от всего общего; в ликвиде 16,8, в том числе по хвойному хозяйству 12,0 млн м<sup>3</sup> (71,4 %).

За последний 21 год общий средний прирост во всех категориях лесов области возрос с 19,5 до 22,8 млн м<sup>3</sup> за счет увеличения площади молодняков и особенно лиственных лесов, прирост древесины у которых в 1,5–2,0 раза выше, чем в хвойных насаждениях. Общий средний прирост древесины в лесах, возможных для эксплуатации, за этот период увеличился с 16,9 до 18,6 млн м<sup>3</sup>, в лиственном хозяйстве с 17,1 до 28,6 %, т. е. в 1,7 раза в связи со сменой пород на вырубках.

Таким образом, в динамике лесов области наблюдается оправданная тенденция увеличения площади лесов I группы, имеющих средозащитное назначение. До сих пор не выделены во II группу леса, истощенные длительными и чрезмерно интенсивными рубками. Лесопокрытая площадь по области не уменьшилась, однако заметно возросла доля лиственных насаждений. Стало больше молодняков, сокращаются площади и запасы спелых лесов. Продуктивность лесов остается примерно на одном уровне. Общий средний прирост древесины несколько повысился за счет увеличения площади лиственных лесов. Годовой объем рубок до 1991 г. значительно (на 30 %) превышал общий средний прирост (в ликвиде) древесины, особенно по хвойному хозяйству.

Ухудшение качественного состояния лесов является следствием длительного применения сплошных концентрированных рубок и низкого уровня ведения лесного хозяйства, которое, в связи со слабой материальной базой и крайне недостаточным финансированием, не способно осуществлять систему лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающую поддержание качества лесного фонда на должном уровне.

Из анализа также следует необходимость изменить и усовершенствовать ряд принципиальных позиций методики лесоустройства. Без этого в дальнейшем невозможна объективная лесоводственно-таксационная оценка лесов и их состояния, что затруднит рациональное использование и воспроизводство лесных ресурсов области, не позволит правильно планировать развитие лесной промышленности в перспективе.

Северный НИИ лесного хозяйства

Поступила 22.02.02

*N.P. Chuprov*

### **Dynamics of Forest Stock of Arkhangelsk Region over 48 Years**

The dynamics of regional forests is shown in accordance with their natural growth and economic influence: according to function, area categories, prevailing species, age categories and forest productivity based on inventory data. Critical data assessment is provided.

---

УДК 630\*232.311.1

***Е.Н. Наквасина***

Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники и общей экологии Поморского государственного университета. Имеет более 100 печатных работ в области лесных культур и лесного семеноводства.



### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ОПЫТАХ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ\***

Впервые для северного региона изучены общие закономерности географической изменчивости климатипов на крайнем пределе ареала сосны обыкновенной. Установлены особенности влияния географического происхождения потомств на их адаптационную устойчивость, рост и продуктивность на разных этапах в зависимости от условий культивирования. Выявлены факторы, обуславливающие взаимодействие системы «генотип — среда».

Ключевые слова: приживаемость, высота, климатип, динамика, оценка.

Большинство исследований географической изменчивости древесных пород носят статический характер, учитывают показатели устойчивости, роста и продуктивности культур в определенном возрасте. Однако степень наследуемости признаков с возрастом может меняться [4]. На разных этапах роста критерии оценки могут быть различны. Оптимальным шагом оценки считается 4-5 лет [6]. Окончательный возраст оценки и отбора потомства равен 1/2 возраста рубки, принятого для конкретной породы [7].

Динамические наблюдения за географическими культурами, проведенные на Украине, подтвердили неоднозначность влияния происхождения потомства на его рост в течение 70-летнего периода [3]. По данным И.Н. Патляя, возраст первой оценки, имеющей практическое значение, составляет 5...7 лет; предварительные выводы можно сделать в возрасте культур 9...11 лет, когда начинается стабилизация ранговых мест климатипов. Окончательная стабилизация наблюдалась в 30–35-летних культурах.

В качестве критериев оценки и отбора потомств для культур старшего возраста однозначно принят фактический запас стволовой древесины, средняя высота, средний диаметр и приживаемость (сохранность). По мнению В.М. Роне, высота и диаметр имеют выраженную лабильность по отношению к экологическим факторам и могут иметь различную значимость в возрастном аспекте. Адаптивная ценность потомств оценивается по возрастной и экологической стабильности признаков [5].

---

\* Исследования проведены на объектах Государственной сети географических культур (куратор по пунктам Европейского Севера – Северный НИИ лесного хозяйства).

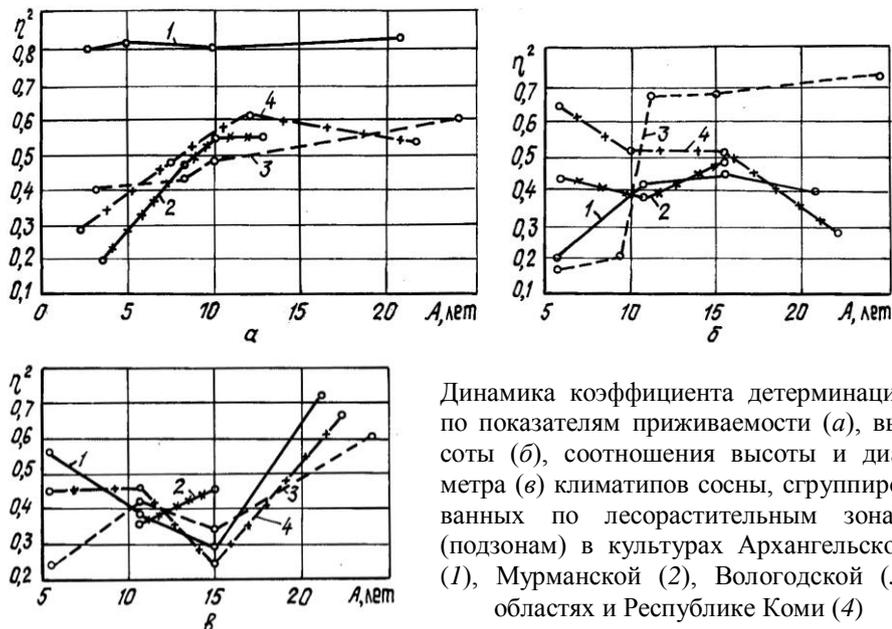
Нами исследована динамика показателей в 22–25-летних географических культурах сосны обыкновенной, созданных в 1976–1977 гг. в Мурманской, Архангельской, Вологодской областях и Республике Коми. В работе принимали участие сотрудники Северного НИИ лесного хозяйства Т.В. Бедрицкая и О.А. Гвоздухина, а также группа студентов Поморского государственного университета. Для динамических расчетов использованы данные, полученные автором в период работы в СевНИИЛХе, а также архивные материалы, любезно предоставленные этим институтом.

Долю влияния географического происхождения потомства устанавливали с помощью дисперсионного анализа при группировке климатипов по лесорастительным зонам (подзонам), выделенным по С.Ф. Курнаеву [1]. Использование для сравнения коэффициента детерминации ( $\eta^2$ ) позволило абстрагироваться как от абсолютных показателей конкретных климатипов, так и, с известной долей условности, от их набора в пределах пункта испытания.

При испытании в северной, средней и южной подзонах тайги Европейского Севера России стабилизация приживаемости культур наблюдалась с первых лет после посадки семян на лесокультурную площадь. В этот период гибли самые неустойчивые южные климатипы. Позднее, по выходе сосны из-под снегового покрова, начинался отпад азиатских потомств. Отпад, связанный с самоизреживанием культур, был только в 24-летних культурах Вологодской области.

Уровень связи *приживаемости* с географическим происхождением климатипов меняется с возрастом ( $A$ ). В первом десятилетии приживаемость культур существенно зависит от качества посадки и посадочного материала, выравнивания почвенно-агротехнических условий культивирования, что выражается в значительном варьировании показателя детерминации по пунктам испытания культур (рис. *a*). Высокая стабильность влияния суммарного географического фактора в I классе возраста культур в Плесецком лесхозе Архангельской области обусловлена тщательной сплошной подготовкой почвы, обеспечивающей выравнивание агрофона, хорошим постоянным уходом за сеянцами в первые годы после посадки. В других пунктах испытания, где сеянцы высаживали без подготовки почвы (Мурманская область) или при расчистке площади узкими полосами (Вологодская область, Республика Коми), в этой фазе роста культур коэффициент детерминации  $\eta^2$  не превышал 0,4.

Возраст культур, в котором доля влияния географического фактора на приживаемость стабильно превышает популяционную изменчивость потомств, связан с климатическими условиями культивирования сосны. В северной и средней подзонах тайги он составил 10–11 лет, в южной – 15 лет. Прогноз состояния сосны различного географического происхождения в условиях Европейского Севера по приживаемости культур с достаточной долей уверенности можно делать не ранее чем через 10 лет после их посадки на лесокультурную площадь.



Динамика коэффициента детерминации по показателям приживаемости ( $\alpha$ ), высоты ( $\beta$ ), соотношения высоты и диаметра ( $\gamma$ ) климатипов сосны, сгруппированных по лесорастительным зонам (подзонам) в культурах Архангельской (1), Мурманской (2), Вологодской (3) областях и Республике Коми (4)

Связь *высоты* с географическим происхождением культур в пределах I класса возраста менее стабильна, чем с устойчивостью потомств (рис. б). Окончательной стабилизации ранговых мест климатипов сосны по высоте к 21–24-летнему возрасту не наблюдается (коэффициент ранговой корреляции высот разного возраста не превышает 0,7). В первые два десятилетия роста культур возникают конкурентные отношения между особями в фазе смыкания крон, происходит перераспределение ранговых мест климатипов в пределах коллекций за счет снижения интенсивности линейного роста и усиления радиального прироста у южных и азиатских потомств сосны. Это приводит к тому, что во всех пунктах испытания к 20...25 годам наблюдается относительное выравнивание высот.

В фазе индивидуального роста культур суммарное влияние географического происхождения на высоту культур, выраженное через коэффициент детерминации, как и на приживаемость, лимитируется качеством семян и их посадки, выравниваемостью агрофона и связано с климатическими условиями культивирования. Так, более благоприятные условия выращивания культур в Архангельской и Вологодской областях нивелировали интенсивность роста культур различных зон и подзон, сводя на нет влияние географического фактора. В восточной части средней подзоны тайги (Республика Коми) и в Субарктике доля влияния суммарного географического происхождения на рост культур составила 43 ... 65 %.

Относительная стабилизация коэффициента детерминации  $\eta^2$  по высоте во всех пунктах испытания наблюдается в 10–15-летних культурах. В этот период наиболее полно реализуется географическое происхождение

потомства по росту в условиях южной подзоны тайги. Доля влияния географического происхождения стабильно сохраняется к 25-летнему возрасту культур на уровне 70 %. В северной и средней подзонах тайги большую роль, по сравнению с географическим фактором, играют популяционные особенности потомств в пределах одного региона происхождения. Влияние суммарного географического происхождения здесь ниже, коэффициент детерминации  $\eta^2$  составляет 0,4-0,5, а с учетом ошибки не превышает 0,6. В 15–20-летнем возрасте культур сосны, испытываемых в средней подзоне тайги, коэффициент детерминации  $\eta^2$  по высоте снижается до 0,3-0,4, что, видимо, связано с интенсивным перераспределением линейного и радиального прироста у южных климатипов с низкой приживаемостью.

Для оценки *динамики соотношения высоты и диаметра* климатипов сосны в течение I класса возраста был использован показатель  $H/D$  (относительная высота), который, по мнению Е.Л. Маслакова [2], является показателем напряженности конкуренции в древостое. Последняя выражается в дифференциации деревьев по диаметру, высоте, объему ствола и проявляется в средних показателях потомств. По ним рассчитывается запас древесины, являющийся интегральным показателем при отборе.

Исследована доля влияния суммарного географического фактора на соотношение средней высоты и среднего диаметра потомств с возрастом (рис. 6). В средней и южной подзонах тайги прослеживается заметное снижение коэффициента детерминации в 15-летних культурах, когда начинается смыкание крон, дифференциация деревьев и наиболее интенсивно идет перераспределение между линейным и радиальным приростами сосны. Этот период характеризуется максимальными различиями в энергии роста между климатипами, происходящими из одной лесорастительной зоны (подзоны). На первый план выдвигаются особенности популяций (исходных насаждений). В условиях Субарктики культуры в рядах смыкаются позже в связи с медленным ростом сосны, в 15-летних культурах конкурентные взаимоотношения между деревьями в климатипах не наблюдаются.

К началу третьего десятилетия роста культур в средней и южной подзонах тайги проявляется наследственно обусловленная интенсивность линейного и радиального прироста сосны, связанная с их географическим происхождением. Коэффициент детерминации  $\eta^2$  по относительной высоте  $H/D$  достиг 0,6-0,7.

Таким образом, доля влияния географического происхождения семян, из которых созданы культуры, на показатели их адаптационной устойчивости и роста меняется с возрастом и зависит от условий произрастания потомства. Ранняя оценка климатипов сосны в географических культурах по приживаемости и высоте не гарантирует правильности выводов и отбора потомств для использования при лесовосстановлении. Следует использовать комплекс показателей, в том числе запас древесины, учитывающий как высоту, так и диаметр потомств. Отбор потомств по этому показателю возмо-

жен уже с 15-летнего возраста культур с вероятностью до 70 %. Позднее ряд климатипов может изменить свой статус в связи с началом дифференциации деревьев в рядовых культурах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 240 с.
2. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 162 с.
3. Патлай И.Н. Селекционно-экологические основы семеноводства и выращивания высокопродуктивных культур сосны обыкновенной, дуба черешчатого и ясеня обыкновенного в равнинной части Украинской ССР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Киев: Укр. сельскохоз. акад., 1984. – 45 с.
4. Пирагс Д.М. Проблемы сохранения генофонда древесных пород // Генетические исследования древесных в Латвийской ССР. – Рига: Зинатне, 1975. – С. 5–16.
5. Роне В.М. Методы генетического анализа и отбора в популяциях ели обыкновенной: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М.: Ин-т общей генетики АН СССР, 1979. – 36 с.
6. Роне В.М. и др. Интегрированные лесоселекционные программы ЛатНИИЛХП / В.М. Роне, Д.М. Пирагс., И.И. Бауманис и др. // Отбор лесных древесных. – Рига: Зинатне, 1978. – С. 186–190.
7. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. – М.: ФСЛХ России, 2000. – 196 с.

Поморский государственный  
университет

Поступила 01.03.02

*E.N. Nakvasina*

#### **Geographical Variability Regularities of Scots Pine in Provenance Tests in the European North of Russia**

General regularities of climatypes geographical variability in the outside limit of Scots Pine areal have been first studied for the northern region. The peculiarities of posterity provenance influence on its stability, growth and productivity at different stages depending on incubation conditions have been set. Factors determining interrelation of genotype – environment system have been revealed.

---

УДК 630\*114.58:630\*232

*А.П. Максименко*

Максименко Анатолий Петрович родился в 1947 г., окончил в 1970 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, директор Краснодарского опытного лесного хозяйства, заслуженный лесовод РФ. Область научных исследований – экологические основы лесоразведения на ракушечных песках.



## **ПРИГОДНОСТЬ ПОЧВ ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ ДЛЯ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ**

Показано, что формирование растительных сообществ на ракушечных песках зависит от засоленности грунтовых вод, определяющих направленность почвообразовательного процесса.

Ключевые слова: ракушечные отложения, почвообразующие породы, приморские солончаки, грунтовые воды, галофиты, лесомелиоративные комплексы.

Умеренно-влажный климат, минеральные источники, лечебные грязи, море и пляжи делают восточное Приазовье перспективным рекреационным и курортным регионом. Но прибрежные районы лишены древесной и кустарниковой растительности. Пригодность песчано-ракушечных засоленных почв для лесоразведения определялась методом сопряженного изучения почв, грунтовых вод и произрастающих лесонасаждений.

Для определения почвенно-гидрологических условий были отобраны образцы почв и грунтовой воды на площади 2853 га с песчано-ракушечных почв кос Глафировской, Долгой, Камышеватской, острова Ейский и Старо-Щербиновских плавней. Анализы выполнены по общепринятым методикам: механический состав почв по Качинскому, рН водной суспензии потенциометрически, гумус по Тюрину, водная вытяжка солей (плотный остаток), подвижный фосфор по Мачигину, обменный калий по Протасову, полный анализ грунтовых вод. На основании материалов исследований составлены почвенные карты, картограммы глубины залегания и степени минерализации грунтовых вод [5]. При определении вида травянистых растений пользовались определителем И.С. Косенко [2].

В Краснодарском крае выделено семь почвенных районов. Почвы объектов исследования входят в Приазовский низменный район. Преобладающими почвообразующими породами являются аллювиальные (современные и древние) отложения разного механического состава [1].

Во всем многообразии почвенного покрова песчано-ракушечных отложений приморской части нами выделены следующие группы: слабо развитые песчано-ракушечные отложения, гумусированные ракушечники, луговые, лугово-болотные почвы, солончаки приморские. Все они образовались

в результате морской аккумуляции, но имеют совершенно разный возраст и рельеф. Почвообразовательные процессы находятся в начальной стадии, почвообразующие породы – ракушечники.

Слаборазвитые песчано-ракушечные почвы являются самыми молодыми почвенными образованиями, слабо покрыты травянистой растительностью и едва затронуты почвообразовательным процессом. Территория, занятая гумусированным ракушечником, приурочена к равнинному рельефу аккумулятивных форм с незначительными (до 50...60 см) понижениями и повышениями. Сформировались они раньше, чем предыдущий тип почв, в условиях сравнительно низкого залегания грунтовых вод (110 ... 150 см). Из приведенных в табл. 1 данных видно, что содержание гумуса в верхнем 10-сантиметровом слое почвы значительное, с глубиной резко убывает. Обеспеченность подвижными формами фосфора от низкой до средней, обменным калием в слое 10 см высокая, в слое 30...44 см низкая. Плотный остаток водорастворимых солей характеризует почвы как незасоленные. Тип засоления – хлоридно-сульфатный. Содержание анионов токсических солей вполне допустимо для роста несолеустойчивых древесных и кустарниковых пород.

Луговые засоленные почвы приурочены к неглубоким западинам, потяжинам и понижениям. Сформировались эти почвы на глинистых аллювиальных речных наносах (устье р. Еи), на иловатых оглеенных глинах лиманной аккумуляции (коса Глифиловская), на оглеенных морских илах (терраса Ясенская переправа), при залегании минерализованных вод на глубине 50...90 см от поверхности почвы.

Содержание гумуса варьирует от 2,7 до 4,0 %, убывает с глубиной. Обеспеченность подвижными формами фосфора от средней до низкой, обменным калием – высокая. Реакция почвенной среды по профилю от средне- до сильнощелочной (рН 8,2...8,9). Луговые почвы засолены по профилю. В анионном составе преобладают ионы хлора, в катионном – ионы натрия. В составе луговых почв преобладают соли NaCl, MgSO<sub>4</sub> и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В отмеченных количествах они высокотоксичны для растительных организмов. Характер засоления почв хлоридный, по степени засоления от средне- до сильносолончатого. Грунтовые воды солончатые, тип их засоления хлоридно-сульфатный.

Таким образом, луговые почвы характеризуются низким потенциальным плодородием, неблагоприятными водно-физическими свойствами, засолением профиля токсичными водорастворимыми солями, наличием близкозалегающих вод – от солончатых до сильносолончатых.

Среди луговых почв отдельными сравнительно небольшими по площади (до 50 га) пятнами встречаются лугово-черноземовидные почвы, расположенные на возвышенных равнинных участках. Почвообразующими породами являются лессовидные суглинки (плавневые участки) и ракушечники (косы). По гидрологическим условиям эти почвы являются удовлетворительными для произрастания древесных и кустарниковых солевывносливых пород.

Таблица 1

## Химические свойства гумусированного ракушечника

Глубина взятия образца, см	Гумус по Тюрину, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг на 100 г почвы	K <sub>2</sub> O	pH водной вытяжки	Состав водной вытяжки, %								
					HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Сумма анионов	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Сумма катионов	Na по разности	Плотный остаток
0...10	4,5	0,70	101,0	7,8	0,034	0,024	0,144	0,202	0,024	0,015	0,039	0,040	0,245
12...22	3,2	0,45	10,0	8,0	0,049	0,024	0,086	0,159	0,024	0,010	0,034	0,032	0,225
30...44	–	0,50	0,9	8,0	0,025	0,024	0,111	0,160	0,016	0,019	0,035	0,027	0,222
70...80	–	–	–	8,0	0,039	0,052	0,106	0,197	0,024	0,005	0,029	0,060	0,232
Грунтовая вода*	–	–	–	–	0,195	0,070	0,144	0,409	0,080	0,012	0,092	0,074	0,575

\* Содержание веществ в грунтовой воде – г/л.



Лугово-болотные засоленные почвы распространены по пониженным элементам рельефа – солончаковым депрессиям. По механическому составу они глинистые и тяжелосуглинистые, с переходом к слоям ракушечника в среднесуглинистые. Реакция почвенной среды от щелочной до среднещелочной (рН 7,8...8,2). Химический анализ показывает, что содержание гумуса незначительное, с глубиной уменьшается до 1,1...1,5 %. Содержание подвижного фосфора среднее, водорастворимых солей по профилю значительное. Плотный остаток в слое 0...10 см составляет 1,889 %, уменьшаясь в слое 27...32 см до 0,772 %. Лугово-болотные почвы относятся к сильнозасоленным. Тип засоления по анионам от сульфатно-хлоридного до хлоридного, по катионам кальциево-натриевый.

Анализ грунтовых вод показывает, что они сильно минерализованы, плотный остаток водорастворимых солей – от слабозасоленных (12,9 г/л, коса Долгая) до рассолов (52,1 г/л, плавни устья р. Еи).

Поверхностно залегающие грунтовые воды в сильной степени минерализованы токсичными водорастворимыми солями. Отрицательные водно-физические свойства почв делают невозможным использовать их для лесоразведения без применения коренных мелиоративных приемов: понижения уровня грунтовых вод и рассоления почвенного профиля. Без мелиораций эти почвы ограниченно могут быть использованы под посадки солеустойчивых древесных и кустарниковых пород (галофиты тамарикс – *Tamarix ramosissima* Ldb., лох узколистный – *Elaeagnus angustifolia* L.).

По результатам наших почвенно-гидрологических исследований установлено, что на большей части территории песчано-ракушечных почв грунтовые воды залегают на глубине до 2 м, корни большинства деревьев и кустарников могут проникать на эту глубину. В среднем на исследованных нами объектах глубина залегания грунтовых вод составляет 80...151 см, снижаясь на приморской гряде до 170...327 см и повышаясь на депрессиях до 15...45 см.

На основании стационарных исследований установлено, что уровень грунтовых вод непостоянен, выявлена определенная закономерность их сезонной динамики.

Сравнение данных гидрологических наблюдений в скважинах, расположенных на расстоянии более 1 км от уреза воды, с данными скважин, расположенных в 200-метровой прибрежной зоне, позволяет выделить два режима изменений уровня грунтовых вод: прибрежный и притеррасный (табл. 2).

Прибрежный режим характеризуется более низким (на 50...100 см) уровнем грунтовых вод и большей амплитудой колебаний (до 70 см). Уровень грунтовых вод здесь изменяется скачкообразно с многочисленными чередующимися подъемами и спадами, что отрицательно влияет на рост и распространение корневых систем. Общий ход кривых изменений уровня включает зимне-весенние подъемы и летне-осенние опускания.

Таблица 2

## Сравнительная характеристика режимов колебаний

Режим	Год наблюдений	Глубина грунтовых вод от поверхности почвы, см				Амплитуда колебаний уровня грунтовых вод, см	
		Средняя		Зимне-весенний минимум	Осенний максимум	средняя	максимальная
		Календарный год	Вегетационный период				
Прибрежный	1975	165	153	110	200	42	50
	1976	172	160	125	205	38	70
	1977	155	148	120	185	37	50
Притеррасный	1975	120	122	75	160	40	45
	1976	110	116	75	150	36	40
	1977	100	99	60	130	34	35

Притеррасный режим характеризуется более близким залеганием грунтовых вод (до 130 см) и меньшей амплитудой колебаний (до 40 см). Годичный ход изменений уровня носит плавный характер, включающий осенне-зимний подъем, зимне-весенний максимум, летнее опускание, осенний минимум.

Результаты исследований показывают, что по степени и характеру засоления различают грунтовые воды от пресных (плотный остаток 11,6...12,7 г/л, коса Долгая) до сильносоленых (плотный остаток 52,15 г/л, коса Глафириовская). Увеличение минерализации, совпадающее со снижением уровня грунтовых вод и достигающее максимума в конце вегетационного периода, способствует уменьшению вредного влияния легкорастворимых солей на корневые системы древесных и кустарниковых пород и улучшению лесорастительных условий песчано-ракушечных почв.

Состав естественной растительности, произрастающей на аккумулятивных ракушечных песках, определяется почвенно-гидрологическими условиями. Растительный покров там разреженный, мозаичный, не образует сплошной дернины. Древесная и кустарниковая растительность представлена единичными экземплярами шелковицы белой (*Morus alba* L.), лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.), шиповника (*Rosa cinnamomea* L.), а также зарослями тамарикса ветвистого (*Tamarix ramosissima* Ldb.) и дерезы русской (*Lycium ruthenicum* Murr.).

По данным В.И. Лымарева и др. [3], травянистые растительные ассоциации приурочены к определенным формам микрорельефа и почвенно-гидрологическим условиям. По нашим данным, на сухих возвышенных местах, представленных песчано-ракушечными отложениями и слабозасоленными по профилю, произрастают катран приморский (*Crambe pontica maritima* Stev.), василек распростертый (*Centaurea diffusa* Lam.), якорцы стелющиеся (*Tribulus terrestris* L.), колосняк песчаный (*Leymus sabulosus* (Bieb.) Tzvel). С увеличением засоленности примешиваются полынь приморская

(*Artemisia maritima* L.), кермек Мейера (*Limonium Meyeri* (Boiss.) Kuntze) и широколистный (*L. latifolium* (Smith) Kuntze), у береговой части встречается горчица морская (*Cakile maritima* Scop).

На почвах равнинной части, представленных гумусированными ракушечниками, растительный покров составляют: молочай степной (*Euphorbia stepposa*), подорожник большой (*Plantago major* L.), катран приморский (*Crambe pontica maritime* Stev.), костер мягкий (*Bromus mollis* L.) и кровельный (*B. tectorum* L.), якорцы стелющиеся (*Tribulus terrestris* L.), паслен колючий (*Solanum rostratum* Dun.), коровяк сидячецветный (*Verbascum Thapsus* L.), сурепка (*Sinapis arvensis* L.), щирица белая (*Amaranthus albus* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), василек Маршалла (*Centaurea Marschalla*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium* L.) и колючий (*X. spinosum* L.), курай (*Salsola tragus* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), чабрец (*Thymus serpyllum* L.), ромашка аптечная (*Matricaria recutita* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), синяк обыкновенный (*Echium vulgare* L.). На лугово-болотных оглеенных слабозасоленных почвах низин буйно произрастают: рогоз (*Typha foveolata* Robed), тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin), камыш (*Scirpus silvaticus* L.); с увеличением засоления их сменяют: донник белый (*Melilotus albus* Desr.), шавель узколистный (*Rumex stenophyllus* Ledb.), морковница приморская (*Astrodaucus litoralis* Drude). На солончаках приморских произрастают галофиты: солерос травянистый (*Salicornia herbacea* L.), сведа приморская (*Suaeda prostrata* Pall.), сарсазан (*Halocnemum strobilaceum* Bieb).

Произрастающая на ракушечных песках травянистая растительность хорошо приспособлена к сложным условиям местообитания, имеет сильно развитую корневую систему, охватывающую значительный объем почвогрунта и часто проникающую до грунтовых вод, создает сильную конкуренцию для лесных культур, особенно в первые годы, в борьбе за влагу и питательные вещества и при отсутствии надлежащего лесокультурного ухода приводит к гибели молодых посадок. Под сомкнутым пологом лесных культур состав напочвенного покрова сильно изменяется, и здесь встречаются: мятлики (*Poa pratensis* L.), костер безостный (*Bromus inermis* L.), спорыш (*Polygonum aviculare* L.), молочай (*Euphorbia stepposa*), чабер (*Satureja laxiflora* C. Koch), выюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), имеющие слаборазвитую корневую систему, расположенную в верхнем горизонте почвы.

Приведенные данные указывают на возможность создания на ракушечниках сравнительно долговечных и устойчивых лесонасаждений озеленительного характера, что будет способствовать улучшению экологической обстановки в зоне восточного Приазовья. Освоение песчаных и супесчаных земель под лесные культуры позволит вовлечь в хозяйственный оборот тысячи гектаров территории [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кириченко К.С.* Почвы Краснодарского края. – Краснодар: Красгосиздат, 1953. – 236 с.
2. *Косенко И.С.* Определитель высших растений Северо-Западного Кавказа и Предкавказья. – М.: Высш. шк., 1970. – 612 с.
3. *Льмарев В.И., Левандовский П.А.* Вопросы изучения и освоения Азовского моря и его побережий. – Краснодар, 1974. – 58 с.
4. *Максименко А.П.* Рост и долговечность древесных пород на ракушечниках восточного Приазовья // Лесн. журн. – 1980. – № 5. – С. 27–29. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Очерк о почвенном обследовании малопродуктивных и неудобных земель Ейского лесхоза и рекомендации по использованию их под посадку лесных культур. – Краснодар, 1975. – 210 с.

Краснодарское опытное  
лесное хозяйство

Поступила 08.05.01

*A.P. Maksimenko*

**Eastern Azov Soils Suitability for Afforestation**

Formation of vegetation communities on shelly sands is shown to depend on salivation of subsoil waters setting the direction of soil-forming process.

---

УДК 630\*24:630\*174

*Н.С. Минин*

Минин Николай Степанович родился в 1949 г., окончил в 1974 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет 40 печатных работ в области исследования влияния лесохозяйственных мероприятий на рост, продуктивность и качество древесины в искусственных и естественных древостоях.



### **ДИНАМИКА РОСТА ЛУЧШИХ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНЯКАХ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖ- ДЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ РУБОК УХОДА**

Проанализирована динамика роста совокупности лучших деревьев в сосняках искусственного происхождения, пройденных рубками ухода различной интенсивности. Показано влияние фактора исходной густоты создания и густоты выращивания культур сосны на рост этих лучших деревьев.

Ключевые слова: густота, рубки ухода, рост, формирование.

При направленном регулировании процессов роста и формирования лесных фитоценозов комплексом лесохозяйственных мероприятий густота рассматривается как наиболее доступный и действенный фактор. В частности, густота древостоев является основополагающим параметром в программах рубок ухода [4].

Следует различать исходную густоту создания лесных культур сосны и густоту выращивания сосняков искусственного происхождения. Если значимость исходной густоты общепризнана, то характер размещения деревьев под влиянием разных режимов рубок ухода, т. е. густота выращивания, определяющая последующий ход формирования, продуктивность, рост и развитие насаждений в условиях европейской тайги, изучен недостаточно.

При формировании насаждений рубками ухода большой интерес представляет рост лучших деревьев, которые в основном войдут в состав будущего спелого древостоя.

Цель наших исследований – оценить результаты проведенных разреживаний на примере динамики роста совокупности 800 лучших деревьев на 1 га, которые к возрасту главной рубки должны сформировать древостой [1–3]. Таксация лучших деревьев по сравнению с обычной позволяет точнее и на раннем этапе формирования древостоя определить влияние густоты на их рост.

Опытные культуры сосны, избранные в качестве объекта детальных исследований, созданы на гари механизированным посевом (ПСТ-2А) в 1961 г. Тип леса черничный (средняя подзона тайги). К моменту первого

приема рубок ухода (1970 г.) густота достигала 10,0...11,7 тыс. деревьев сосны на 1 га (общая 14,3...15,4 тыс. шт./га). На участках сформировались культуры с признаками угнетения сосны не только под пологом мелколиственных пород, но и внутри рядов от перегущения. Средняя высота мелколиственных пород в 1,5 раза превышала высоту сосны. В результате проведения первого приема с выборкой 70...80 % мелколиственных и части хвойных пород густота культур была доведена во всех вариантах опыта до 6,5 тыс. деревьев сосны на 1 га. Через 10 лет, в 1980 г., был проведен второй прием рубок ухода интенсивностью 30, 37 и 47 % по запасу сосны с оставлением соответственно 2,7; 2,3; 1,6 тыс. деревьев на 1 га (густота в контроле 7,3 тыс. деревьев сосны и 5,3 тыс. деревьев лиственных на 1 га, состав 6С4Б).

Исследования проводили на постоянных пробных площадях с нумерацией каждого дерева. Лучшие деревья отбирали в каждом варианте опыта с учетом количественных (отношение диаметра на 1,3 м ( $D$ ) к высоте ( $H$ ); диаметра кроны ( $D_{кр}$ ) к ее протяженности ( $L_{кр}$ ); протяженности кроны к высоте дерева; диаметра кроны к высоте дерева) и качественных (хороший рост, крона, ствол) признаков. У лучших деревьев  $D/H = 0,9...1,5$ ;  $D_{кр}/H = 25...35\%$ ,  $L_{кр}/H = 50...70\%$ ,  $D_{кр}/L_{кр} = 40...50\%$ . В течение 19 лет проводили регулярные наблюдения за ростом отобранных деревьев.

Исследования показали, что на площадях, где проведен второй прием рубок ухода, все первоначально отобранные 800 лучших деревьев к 1999 г. сохранили свой ранг. На участке без рубок ухода 30 % лучших деревьев не сохранили свой ранг, и при каждом очередном учете приходилось делать отбор недостающих лучших деревьев. Следовательно, при рубках ухода в раннем возрасте можно отобрать необходимое число лучших деревьев, которые в основном составят будущее спелое насаждение.

Характеристика роста и изменения основных таксационных показателей совокупности лучших деревьев по периодам наблюдений (табл. 1, 2)

Таблица 1

Показатели	Год учета	Вариант опыта			
		12 к (контроль)	12 а	12 б	12 в
Число стволов сосны, тыс.шт./га	1980	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>
		7,3	2,7	2,3	1,6
	1984	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>
		6,6	2,7	2,3	1,6
	1993	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>
		5,3	2,3	2,0	1,4
	1999	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>
		2,9	2,0	1,8	1,4
Средний диаметр, см	1980	<u>8,2</u>	<u>9,0</u>	<u>8,6</u>	<u>8,8</u>
		5,0	7,0	6,8	7,7
	1984	<u>10,0</u>	<u>10,5</u>	<u>10,2</u>	<u>10,8</u>
		6,1	8,3	8,4	9,5
	1993	<u>11,8</u>	<u>13,5</u>	<u>13,1</u>	<u>13,8</u>
		8,1	10,3	10,4	12,0
	1999	<u>13,3</u>	<u>14,6</u>	<u>14,6</u>	<u>15,4</u>
		9,5	11,4	11,8	13,7

Средняя высота, м	1980	<u>6,3</u>	<u>6,5</u>	<u>6,3</u>	<u>6,6</u>
		5,3	6,0	5,9	6,2
	1984	<u>8,4</u>	<u>8,3</u>	<u>8,0</u>	<u>8,4</u>
		7,2	7,7	7,5	7,9
	1993	<u>12,0</u>	<u>12,2</u>	<u>12,0</u>	<u>12,2</u>
10,0		10,9	10,6	11,1	
1999	<u>14,7</u>	<u>14,6</u>	<u>14,7</u>	<u>15,5</u>	
	12,5	12,7	12,8	13,7	
Запас, м <sup>3</sup> /га	1980	<u>17</u>	<u>20</u>	<u>18</u>	<u>20</u>
		48	40	33	29
	1984	<u>30</u>	<u>33</u>	<u>30</u>	<u>35</u>
		81	67	57	52
	1993	<u>54</u>	<u>73</u>	<u>67</u>	<u>75</u>
100		112	95	96	
1999	<u>80</u>	<u>99</u>	<u>99</u>	<u>115</u>	
	131	142	130	143	
Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	1980	<u>2,9</u>	<u>4,7</u>	<u>4,1</u>	<u>4,9</u>
		14,3	10,6	8,6	7,5
	1984	<u>4,0</u>	<u>6,6</u>	<u>6,1</u>	<u>7,1</u>
		19,2	14,8	12,7	11,2
	1993	<u>9,9</u>	<u>11,5</u>	<u>10,7</u>	<u>11,8</u>
26,5		19,7	16,8	16,2	
1999	<u>10,9</u>	<u>13,5</u>	<u>13,3</u>	<u>14,9</u>	
	20,3	21,8	21,8	20,3	

Примечание. В числителе показатели 800 лучших деревьев; в знаменателе – древостоя в целом.

Таблица 2

Показатели	Вариант опыта			
	12 к (контроль)	12 а	12 б	12 в
Интенсивность второго приема по запасу, %	0	30	36	47
Средний диаметр за 1980–1999 гг.:				
см	<u>5,1</u>	<u>6,1</u>	<u>6,0</u>	<u>6,6</u>
% от 1980 г.	100	119	118	129
Средняя высота за 1980–1999 гг.:				
м	<u>8,4</u>	<u>8,1</u>	<u>8,4</u>	<u>8,9</u>
% от 1980 г.	100	96	100	106
Запас за 1980–1999 гг.:				
м <sup>3</sup> /га	<u>63</u>	<u>79</u>	<u>81</u>	<u>95</u>
% от 1980 г.	100	125	128	151
Средний объем одного дерева в 1999 г., м <sup>3</sup>	<u>0,10</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	<u>0,14</u>
	100	120	120	140

Примечание. В знаменателе – % к контролю.

показывают, что фактор общей густоты на момент проведения второго приема не сказался существенно на росте этих деревьев-лидеров при густоте

6,5...7,3 тыс. шт./га. Та же тенденция наблюдалась и через 5 лет после проведения второго приема рубок ухода до густоты 1,6...7,3 тыс. шт./га.

Рубки ухода за 19 лет почти не повлияли на рост в высоту совокупности лучших деревьев. Прирост в контроле и на участках с рубками ухода был практически одинаков.

Фактор густоты оказывает наиболее существенное влияние на рост лучших деревьев по диаметру. С увеличением возраста и общей густоты средний диаметр закономерно снижается. Наибольшего значения он достигает в культурах, пройденных двумя приемами рубок ухода и в варианте с высокоинтенсивной рубкой. Средние диаметры 800 лучших деревьев и древостоя в целом в 38-летних культурах без рубок ухода отличаются на 40 %, а в культурах с рубками ухода соответственно на 28, 24 и 12 %.

Таким образом, отставание в росте лучших деревьев по диаметру в древостое без рубок ухода с возрастом значительно увеличивается, и они попадают под полог лиственных пород, испытывая угнетение от общей густоты.

В 38-летних культурах, формирующихся под влиянием рубок ухода и без них наличный запас древесины был практически одинаковым (130...143 м<sup>3</sup>/га) при густоте после уходов от 1,6 до 2,7, в контроле 7,3 тыс. шт./га. Однако доля участия 800 лучших деревьев на 1 га в составе культур разной густоты и в формировании запаса различна (табл. 3). На участках с рубками ухода их относительная густота составляет 40 ... 57 % от

Таблица 3

Показатели	Год учета	Вариант опыта			
		12 к (контроль)	12 а	12 б	12 в
Число деревьев, %	1980	11	29	35	50
	1984	12	29	35	50
	1993	15	35	40	57
	1999	28	40	44	57
Запас, %	1980	35	50	55	69
	1984	37	49	53	67
	1993	54	65	71	78
	1999	61	70	76	80

общей (контроль – 28 %), запас соответственно 70, 76 и 80 % (контроль – 61 %). Отсюда следует, что основная доля запаса древостоя приходится на эти 800 лучших деревьев, и в культурах с рубками ухода она на 9...19 %, а по абсолютной величине на 19...35 м<sup>3</sup>/га выше контрольного.

Итак, на вырубках европейской тайги, бывшей зеленомошной группы типов леса, молодняки искусственного происхождения формируются со значительной долей в составе мелколиственных пород, которые являются сильными конкурентами в произрастании культур. Последующий ход формирования без проведения рубок ухода приводит к уменьшению числа де-

ревьев сосны господствующего полога и снижению выхода крупных сортиментов.

Рубки ухода обеспечили благоприятные условия для роста и развития совокупности лучших деревьев, которые к возрасту главной рубки должны сформировать древостой. Это выразилось в создании насаждения оптимального состава, густоты, обеспечивающих лучшие показатели роста по диаметру, запасу и объему.

Исследования, проведенные в сосняках искусственного происхождения со сравнительно большой давностью рубок ухода, показывают, что наилучший рост 800 лучших деревьев на 1 га или «густоты спелости» достигнут древостоем после проведения высокоинтенсивной рубки ухода с оставлением в 20-летнем возрасте общей густоты около 1,5 тыс. деревьев на 1 га.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А.Н., Величко Я.М. Рост молодняков сосны после разреживания // Восстановление и мелиорация лесов Карелии. – Л., 1982. – С. 83–88.
2. Прокопьев М.Н. Воспроизводство сосновых лесов южной и средней подзон европейской тайги: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Л., 1984. – 38 с.
3. Рубцов В.И. и др. Биологическая продуктивность в лесостепной зоне / В.И. Рубцов, А.И. Новосельцева, В.К. Попов, В.В. Рубцов. – М.: Наука, 1976. – 221 с.
4. Чибисов Г.А., Поротов В.Н. Программы рубок ухода за лесом на Европейском Севере. – Архангельск, 1982. – 25 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 17.04..02

*N.S. Minin*

#### **Growth Dynamics of Best Trees in Pine Stands of Artificial Origin under Thinning Influence**

The growth dynamics of the best trees in pine stands of artificial origin after thinning of different intensity has been analyzed. The influence of original planting density factor and growing thickness of pine cultures on the growth of the best trees is shown.



УДК 630\*443

**С.Ю. Кондаков**

Кондаков Сергей Юрьевич родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Сибирский технологический институт, межрайонный инженер-лесопатолог Центра защиты леса Красноярского края. Область научных интересов – лесозащитный мониторинг, организация и прогнозирование лесопатологической ситуации в лесах Красноярского края.



### ОПТИМАЛЬНЫЕ СРОКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ОПРЫСКИВАНИЙ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ

Представлены стратегия и тактика применения системных фунгицидов против фитозаболеваний семян хвойных пород в лесных питомниках.

Ключевые слова: питомники, семена, шотте, обработка фунгицидами, оптимальные сроки.

На основании многолетних наблюдений нами предпринята попытка определить оптимальные сроки применения фунгицидов в лесных питомниках весной, летом и осенью в различных лесохозяйственных районах Красноярского края (см. таблицу).

Лесохозяйственный район	Сроки обработки		
	весенней	летней	осенней
Южнотаежный	24.05 – 31.05	12.07 – 16.07	30.09 – 6.10
Лесостепной	18.05 – 23.05	6.07 – 11.07	7.10 – 12.10
Горно-лесостепной	18.05 – 27.05	6.07 – 13.07	4.10 – 10.10
Горно-таежный	24.05 – 1.06	13.07 – 18.07	2.10 – 8.10
Горно-черновой	23.05 – 6.06	12.07 – 18.07	29.09 – 5.10

Для условий края нами разработан фенологический прогноз определения даты летнего профилактического опрыскивания [1]. Принимая во внимание, что наиболее полное, максимальное спороношение обыкновенного шотте происходит в период летней вегетации, основные профилактические обработки лесных питомников необходимо проводить в это время. Как правило, их целесообразно приурочивать ко второй декаде июля. Фенологическим индикатором этого периода является созревание смородины.

Срок осеннего профилактического опрыскивания посевов хвойных пород системными фунгицидами определяется по созданию оптимальных условий для разлета аскоспор снежного шотте и заражения семян.

Это происходит при высокой влажности и температуре воздуха в пределах от +3 до –1 °С [2]. Фенологическим индикатором оптимальных погодных условий для рассеивания аскоспор снежного шютте является завершение листопада березы. Этот период продолжается до установления временного снежного покрова, когда среднесуточные температуры воздуха опускаются ниже 0 °С. Таким образом, профилактические опрыскивания в лесных питомниках осенью завершаются в собственное предзимье. Например, для лесного питомника Красноярского лесхоза, по данным метеостанции «Красноярское опытное поле», эта средняя многолетняя дата приходится на 18 октября, когда следует заканчивать профилактические обработки.

Рассматривая динамику перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °С осенью в 1989–1999 гг., можно установить благоприятные сроки для завершения осенних профилактических обработок лесных питомников системными фунгицидами: в центральных районах – с 17 по 31 октября, в южных – с 1 по 12 ноября. В начале этого периода переход через 0 °С приходился на 17–31 октября. В 1993–1995 г., по данным большинства метеостанций, переход через 0 °С произошел с 26 по 29 октября.

Оптимальные условия для рассеивания аскоспор снежного шютте оказались растянутыми во времени, и проведение профилактических опрыскиваний в лесных питомниках только в третьей декаде октября могло способствовать предупреждению и профилактике этого заболевания у сеянцев хвойных пород.

В 1996–1999 гг. сроки, благоприятные для завершения профилактических обработок лесных питомников Красноярского края, сдвинулись в центральных районах в среднем на 18–28 октября, местами в южных на 1–12 ноября, когда среднесуточные температуры воздуха переходили через 0 °С. В связи с этим защитные функции могли выполнить профилактические обработки питомников, проведенные в период с третьей декады октября по первую декаду ноября. Конкретная дата обработки питомника существенно зависит от погодных факторов.

Таким образом, срок осенней обработки лесных питомников фунгицидами увязывается с фенологическими явлениями, которые соответствуют определенным температурным показателям. Начало обработки соответствует концу листопада у березы, когда среднесуточные температуры воздуха переходят через +3 °С. Завершать обработку питомников целесообразно в период установления временного снежного покрова.

Срок заключительных профилактических опрыскиваний посевов хвойных пород в лесных питомниках при использовании системных фунгицидов можно определять по выражению

$$Y = X + 10,$$

где  $Y$  – оптимальный срок завершения осенних профилактических обработок;

X – дата окончания листопада березы (перехода среднесуточных температур воздуха через +3 °С).

Использование системных фунгицидов в лесных питомниках осенью в оптимальные сроки позволяет надежно защитить сеянцы и саженцы хвойных пород от микозного заболевания типа снежного шютте и предупреждает развитие обыкновенного шютте по зимнему типу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондаков С.Ю., Кондакова Т.П. Интегрированная система защиты и выращивания качественного посадочного материала в лесных питомниках // Лесн. хоз-во. – 2000. – № 2. – С. 24–25.

2. Маслов А.Д. и др. Защита леса от вредителей и болезней: Справочник. – М., 1988. – 421 с.

Центр защиты леса  
Красноярского края

Поступила 29.12.01

*S.Yu. Kondakov*

#### **Optimal Terms of Holding Preventive Spraying in Forest Nurseries**

Strategy and tactics of applying the systemic fungicides against phytopathology of coniferous seedlings in forest nurseries are presented.





УДК 630\*524.634: 630\*24

*П.М. Мазуркин, Э.Н. Бедертдинов, П.А. Перов*

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 РАЕН. Имеет 650 печатных работ в области функционально-конструктивного блочно-модульного синтеза манипуляторных машин и биотехнических систем.



Бедертдинов Эмир Нуртдинович, главный лесничий Кокшайского лесхоза Комитета природных ресурсов Республики Марий Эл, инженер-технолог, соискатель, автор 7 публикаций.



## ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ЛЕСНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Показан новый метод оценки непрерывно изменяющегося качества лесосечного фонда по статистическим закономерностям динамики заготовки лесоматериалов на данной территории. Проанализирована динамика лесозаготовок в лесном комплексе Республики Марий Эл за прошедшие полвека по пятилетиям.

Ключевые слова: качество территории, лесосечный фонд, динамика лесозаготовок, статистические модели, объем вывозки.

Качество лесной территории определяют различными способами. Наиболее известны методы лесоводственной оценки оставляемого после рубки древостоя или вырубки, а также фитопатологической и экологической характеристики всего биоценоза. При этом лесозаготовители оценивают только древостой по качеству сертифицированной на корню древесины.

В настоящей статье рассмотрен новый метод определения непрерывно изменяющегося качества лесного фонда по статистическим

Таблица 1

## Динамика среднегодовых (по пятилетиям) вырубок

Годы	Вырублено всего, га	Ликвид, тыс.м <sup>3</sup>	В том числе хвойные		Несплошные рубки, га	Хвойные, % от ликвида	Ликвид % от 1955 г.	Хвойные
			тыс.м <sup>3</sup>	га				
1954–1955	18573,0	3658,7	2928,6	–	252,0	80,0	99,0	93,8
1956–1960	15276,8	3058,0	2412,1	–	130,0	78,9	82,7	77,2
1961–1965	9635,4	2184,6	1193,8	–	163,4	54,6	59,1	38,2
1966–1970	9039,2	1982,2	909,1	–	491,6	45,9	53,6	29,1
1971–1975	8438,2	1565,6	736,0	–	234,4	47,0	42,4	23,6
1976–1980	5977,6	1271,2	498,8	–	382,4	39,2	34,4	16,0
1981–1985	5310,6	1237,8	460,6	1122,8	408,8	37,2	33,5	14,7
1986–1990	5645,6	1331,8	477,9	2028,6	293,0	35,9	36,0	15,3
1991–1995	3912,0	888,4	313,8	1470,2	939,6	35,3	24,0	10,0
1996–1999	2307,8	507,8	195,4	947,5	827,8	38,5	13,7	6,3

закономерностям динамики заготовки лесоматериалов на лесной территории Республики Марий Эл (РМЭ) – табл. 1.

Во второй половине XX в. показатели лесной отрасли РМЭ снижались из года в год по общему закону гибели [2, 4]. Их средние ежегодные значения по пятилетиям позволяют достаточно точно характеризовать динамику территориального лесного комплекса. Закономерности распределения показателей можно рассматривать по составляющим и параметрам конкретных статистических моделей [3, 5].

Площадь вырубок. Важнейшим показателем является площадь территории, в данном случае площадь рубок, которая изменяется для РМЭ по зависимости

$$S = 18587,6 \exp(-0,3229 i_t^{0,7355}) + 494,630 i_t^{-3,3323} \exp(2,0221 i_t^{0,6504}) \cos(\pi i_t / 0,7162 + 0,8393), \quad (1)$$

где первая составляющая соответствует закону гибели в общей форме [3–5], а вторая является аномальным колебанием с периодом в  $2 \cdot 0,7162 = 1,4324$  пятилеток, т. е. 7,162 года (табл. 2). Цикл колебания равен примерно 7 годам, а его аномалия проявляется в изменении знаков ( $-3,3323$  и  $+2,0221$ ) в биотехническом законе.

Формула (1) достоверна с доверительной вероятностью не ниже 97,51 %. Из табл. 2 видно, что первая составляющая убывает по закону гибели с меньшей интенсивностью, чем фактические значения. Сокращение площади лесов рубками по РМЭ только нарастало. Площадь вырубок, по второй составляющей, в период 1956–1960 гг. увеличилась на 1834,1 га, в 1971–1975 гг. – на 635,0 га (причем следует учесть пожары 1972 г., 182000 га), в 1986–1990 гг. – на 972,9 га.

По-видимому, снижение площади вырубок в эти пятилетки происходило из-за повышения хозяйственной активности. В депрессивные пятилетки (1961–1965 гг., 1976–1980 гг., 1981–1985 гг., 1991–1995 гг., 1996–2000 гг.) особенно активен кризис в конце XX в., когда за 4 года

Таблица 2

## Динамика среднегодовой вырубленной лесозаготовками площади лесов, га

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{S}$	Расчетные значения по (1)			Составляющие $S$	
			$S$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$S_1$	$S_2$
1954–1955	0	18573,0	18587,6	-14,6	-0,08	18587,6	-
1956–1960	1	15276,8	15292,3	-15,5	-0,10	13458,2	1834,1
1961–1965	2	9635,4	9704,1	-68,7	-0,71	10857,4	-1153,3
1966–1970	3	9039,2	9117,1	-77,9	-0,86	9007,1	109,9
1971–1975	4	8438,2	8228,4	209,8	2,49	7593,5	635,0
1976–1980	5	5977,6	5949,5	28,1	0,47	6472,8	-523,3
1981–1985	6	5310,6	5201,3	109,3	2,06	5563,5	-362,2
1986–1990	7	5645,6	5786,3	-140,7	-2,49	4813,3	972,9
1991–1995	8	3912,0	3948,5	-36,5	-0,93	4186,9	-238,4
1996–1999	9	2307,8	2346,8	-39,0	1,69	3658,5	-1311,1

Примечание.  $\hat{S}$  – фактические значения вырубленной лесозаготовками площади, га;  $\varepsilon$  – разность между фактическими ( $\hat{y}$ ) и теоретическими ( $y$ ) значениями показателя;  $\Delta$  – относительная погрешность, вычисляемая по формуле  $\Delta = 100 \varepsilon / \hat{y}$ . Максимальная относительная погрешность  $\Delta_{\max} = 2,49 \%$ . Доверительная вероятность математической модели после идентификации по статистическим данным оценивается как  $100 - |\Delta_{\max}|$ .

(1996–1999 гг.) произошло значительное отклонение от первой составляющей (на -1311,7 га).

Потеря устойчивости колебательного процесса начнется через 30 пятилеток, т. е. через 150 лет. К 2150 г. все площади лесов РМЭ будут вырублены полностью, если сохранится та тенденция волнового возмущения, которая ныне характерна для лесников и заготовителей.

Объемы рубок. Согласно данным табл. 1 общий объем ликвидной древесины изменяется (по тому же коду пятилеток) по формуле (табл. 3)

Таблица 3

Динамика среднегодового объема заготовленной ликвидной древесины, тыс. м<sup>3</sup>

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{Q}$	Расчетные значения по (2)			Составляющие $Q$	
			$Q$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$Q_1$	$Q_2$
1954–1955	0	3658,7	3690,2	-31,5	-0,86	3690,2	0,0
1956–1960	1	3058,0	2925,3	132,7	4,34	2925,3	0,0
1961–1965	2	2184,6	2366,7	-182,1	-8,34	2366,7	0,0
1966–1970	3	1982,2	1928,2	54,0	2,72	1928,3	-0,2
1971–1975	4	1565,6	1563,8	1,8	0,11	1578,2	-14,4
1976–1980	5	1271,2	1248,7	22,5	1,77	1295,8	-47,2
1981–1985	6	1237,8	1249,7	-11,9	-0,96	1066,7	183,0
1986–1990	7	1331,8	1317,3	14,5	1,09	879,9	437,4
1991–1995	8	888,4	899,7	-11,3	-1,27	727,2	172,6
1996–1999	9	507,8	495,9	11,9	2,34	601,8	-106,0

$$Q = 3690,2 \exp(-0,2323 i_t^{0,9353}) + 0,00001062 i_t^{34,5320} \exp(-12,9560 i_t^{0,6905}) \times \cos(\pi i_t / 0,5970 - 5,4730). \quad (2)$$

С доверительной вероятностью не ниже 91,66 % естественное снижение объемов заготовленной древесины опережает изменение общего объема только в последней пятилетке XX в. Экономический кризис положительно влияет на сохранение природных ресурсов и повышает способность их к самовосстановлению.

Волновая вторая составляющая имеет максимум в период 1986–1990 гг. и сводится к нулю через  $i_t = 15$ , т. е. через шесть последующих пятилеток, или к 2030 г. При этом цикл колебательного возмущения сокращается до  $2 \cdot 0,5970 \cdot 5 = 5,97$  лет, т. е. до 6 лет, а начало колебания смещается назад более чем на 5 лет, т. е. к 1945 г. Этот примечательный факт указывает на то, что для выявления более полной картины динамики вырубок следует взять ряды значений показателей задолго до Великой Отечественной войны.

По первым составляющим формул (1) и (2) видно, что интенсивность гибели объема заготовленной древесины (0,9353) в 1,27 раза выше интенсивности гибели по площади (0,7355). Это свидетельствует об интенсивной потере продуктивности лесов по сравнению с их площадью.

Далее разделим объем ликвидной древесины на площадь вырубок и получим удельный запас заготовленной древесины на 1 га (табл. 4):

$$q_a = 196,55 \exp(-0,8717 i_t^{1,1784}) + 93,01 i_t^{0,4392} \exp(-0,0003376 i_t^{6,9196}) + 33,8422 i_t^{2,0766} \exp(-0,3001 i_t). \quad (3)$$

Модель (3) с высокой доверительной вероятностью 98,62 % описывает динамику плотности заготовленной древесины с вырубаемой площади.

Таблица 4

**Динамика среднегодового удельного объема заготовленной ликвидной древесины, м<sup>3</sup>/га**

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{q}_a$	Расчетные значения по (3)			Составляющие $q_b$		
			$q_b$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$q_{b1}$	$q_{b2}$	$q_{b3}$
1954–1955	0	197,0	196,6	0,45	0,23	196,6	0,0	0,0
1956–1960	1	200,2	200,3	-0,05	-0,02	82,2	93,0	25,1
1961–1965	2	226,7	226,7	-0,02	-0,01	27,3	121,1	78,3
1966–1970	3	219,3	219,5	-0,18	-0,08	8,2	76,7	134,7
1971–1975	4	185,5	184,8	0,74	0,40	2,3	1,2	181,3
1976–1980	5	212,7	214,0	-1,33	-0,63	0,6	0,0	213,4
1981–1985	6	233,1	231,0	2,08	0,89	0,1	0,0	230,9
1986–1990	7	235,9	235,6	0,32	0,14	0,0	0,0	235,5
1991–1995	8	227,1	230,2	-3,14	-1,38	0,0	0,0	230,2
1996–1999	9	220,0	217,8	2,20	1,00	0,0	0,0	217,8

Таблица 5

Динамика среднегодового объема заготовленной хвойной древесины, тыс. м<sup>3</sup>

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{Q}_x$	Расчетные значения по (4)			Составляющие $Q_x$	
			$Q_x$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$Q_{x1}$	$Q_{x2}$
1954–1955	0	2928,6	2930,2	-1,6	-0,05	2930,2	-
1956–1960	1	2412,1	2411,8	0,3	0,01	1668,2	743,6
1961–1965	2	1193,8	1176,8	17,2	1,44	1207,0	-30,4
1966–1970	3	909,1	895,9	13,2	1,45	921,7	-25,7
1971–1975	4	736,0	755,9	-19,9	-2,70	725,2	30,7
1976–1980	5	498,8	570,0	-71,2	-14,27	582,2	-12,2
1981–1985	6	460,6	450,5	10,1	2,19	474,3	-23,8
1986–1990	7	477,9	446,9	31,0	6,49	390,9	56,0
1991–1995	8	313,8	288,0	25,8	8,22	325,2	-37,2
1996–1999	9	195,4	191,1	4,3	2,20	272,6	-81,5

Таблица 6

Динамика среднегодового удельного объема заготовленной хвойной ликвидной древесины, м<sup>3</sup>/га

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{q}_\delta$	Расчетные значения по (5)			Составляющие $q_x$	
			$q_x$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$q_{x1}$	$q_{x2}$
1954–1955	0	157,7	160,4	-2,67	-1,69	76,3	84,1
1956–1960	1	157,9	153,4	4,47	2,83	69,3	84,1
1961–1965	2	123,9	127,0	-3,12	-2,52	42,9	84,1
1966–1970	3	100,6	98,8	1,75	1,74	14,7	84,1
1971–1975	4	87,2	86,5	0,70	0,80	2,4	84,1
1976–1980	5	83,4	84,3	-0,87	-1,04	0,2	84,1
1981–1985	6	86,7	84,1	2,58	2,98	0,0	84,1
1986–1990	7	84,6	84,1	0,49	0,58	0,0	84,1
1991–1995	8	80,2	84,1	-3,91	-4,88	0,0	84,1
1996–1999	9	84,7	84,1	0,59	0,70	0,0	84,1

Если считать 15 м<sup>3</sup>/га (средний удельный объем лесосечных отходов) за минимум, то окажется, что по первой составляющей закономерность (3) исключилась уже в период 1966–1970 гг. Вторая составляющая имела максимум 121,1 м<sup>3</sup>/га в 1961–1965 гг. и также сошла с арены лесозаготовок РМЭ в 1971–1975 гг.

Нарастала третья волна хищнического отношения к лесам, так как увеличение вырубемого удельного запаса характеризует выделение в рубку высокопродуктивных участков леса в ущерб природе. Максимум 235,5 м<sup>3</sup>/га был в 1986–1990 гг. и значения 15 м<sup>3</sup>/га достигнет ( $i_t = 25$ ) к 2075 г.

Объем хвойной ликвидной древесины изменяется по той же закономерности, что и общая площадь вырубок, т. е. с аномальной волновой составляющей (табл. 5):

$$Q_x = 2930,2 \exp(-0,5633 i_t^{0,6548}) + 259,535 i_t^{-4,6015} \exp(1,0722 i_t^{0,9945}) \times \cos(\pi i_t / 0,3743 + 2,3077). \quad (4)$$

По первой составляющей общий объем ликвида за 1950–2000 гг. снизился в 6 раз, а объем заготовленной хвойной древесины более чем в 10 раз. Доля хвойных древостоев, поступающих в рубку, с годами снижалась.

Удельный объем заготовленной хвойной древесины изменялся по формуле (табл. 6)

$$q_x = 76,255 \exp(-0,09547 i_t^{2,5906}) + 84,114. \quad (5)$$

Вторая составляющая в модели (5) имеет значение 84,1, которое характеризует нижний предел удельного объема хвойной древесины, заготовленной с 1 га.

Несплошные рубки. По нашим данным, площадь несплошных рубок изменяется по трехкомпонентной формуле (табл. 7)

$$S_i = 256,50 \exp(-0,4863 i_t) + 211,413 i_t^{-19,7826} \exp(8,0371 i_t) \cos(\pi i_t / 0,3640 - 0,7753) + 210,868 i_t^{0,3294}. \quad (6)$$

Из данных табл. 7 видно, что по модели (6) значительное отклонение имеет пятилетний период 1971–1975 гг. Причем пара точек  $i_t$  при значениях 3 и 4 имеет разные знаки, т. е. в период 1966–1975 гг. произошло сильное импульсное колебание.

Для доказательства исключим эти точки и получим модель

$$S_i = 252,89 \exp(-0,4863 i_t) + 211,511 i_t^{-22,7071} \exp(9,1893 i_t^{0,8001}) \cos(\pi i_t / 0,3640 - 0,7777) + 209,960 i_t^{0,3319}, \quad (6a)$$

которая по значениям параметров является достаточно устойчивой.

Таблица 7

## Динамика среднегодовой площади несплошных рубок, га

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{S}_n$	Расчетные значения по (6)			Составляющие $S_n$		
			$S_n$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$S_{n1}$	$S_{n2}$	$S_{n3}$
1954–1955	0	252,0	256,5	–4,5	–1,79	256,5	–	0,0
1956–1960	1	130,0	130,2	–0,2	–0,15	157,7	–238,4	210,9
1961–1965	2	163,4	161,7	1,7	1,04	97,0	–200,2	265,0
1966–1970	3	491,6	382,1	109,5	22,27	59,6	19,6	302,8
1971–1975	4	234,4	362,8	–128,4	–54,78	36,7	–6,8	332,9
1976–1980	5	382,4	380,3	2,1	0,55	22,5	–0,5	358,3
1981–1985	6	408,8	422,0	–13,2	–3,23	13,9	27,6	380,5
1986–1990	7	293,0	261,5	31,5	10,75	8,5	–147,4	400,3
1991–1995	8	939,6	933,5	6,1	0,65	5,2	509,9	418,3
1996–1999	9	827,8	826,9	0,9	0,11	3,2	388,8	434,9

Первая естественная составляющая соответствует закону гибели в упрощенной форме, т. е. известным законам Ципфа (биология), Парето (экономика), Мандельброта (физика). Из-за снижения общей площади и качества самих лесов площадь несплошных рубок убывает до нуля. По второй составляющей аномального поведения в последнее десятилетие XX в. происходит резкое наращивание площадей несплошных рубок, которые, однако, проводятся со значительными технологическими нарушениями. Третья составляющая неравномерного роста по модели (6а) показывает почти двукратный рост площади несплошных рубок. По-видимому, эта тенденция должна сохраниться и в XXI в., однако при значительном повышении качества выполнения самих рубок. Поэтому изменится и концепция лесозаготовок [1].

Качество древесины. По двум показателям – площади и объему вырубок – вполне возможна оценка динамики отведенных в рубку древостоев. По объему заготовок доля хвойной древесины от всей ликвидной изменяется по формуле (табл. 8)

$$P_x = 79,65 \exp(-0,2809 i_t^{0,5089}) + 266,84 i_t^{2,4285} \exp(-2,3476 i_t) \cos(\pi i_t / 0,4470). (7)$$

С доверительной вероятностью не ниже 87,61 % формула (7) описывает динамику снижения доли (процента вероятности) хвойной древесины в общем объеме лесозаготовок. Причем из данных табл. 8 видно, что вторая волновая составляющая быстро «погасла» еще в конце 70-х гг. Поэтому для дальнейших прогнозных расчетов изменения качества подходит формула

$$P_x = 79,65 \exp(-0,2809 i_t^{0,5089}). (7a)$$

Небольшое увеличение доли хвойной древесины (на 4,77 %) в последней пятилетке XX в. можно объяснить только тем, что хищническое отношение к лесам повышается, так как хвойная древесина заготавливается без ограничений, а лиственная находит меньшее применение.

Таблица 8

**Динамика среднегодового объема заготовленной хвойной древесины,  
% от всего объема рубок**

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{P}_0$	Расчетные значения по (7)			Составляющие $P_x$	
			$P_x$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$P_{x1}$	$P_{x2}$
1954–1955	0	80,0	79,65	0,35	0,44	79,7	0,0
1956–1960	1	78,9	78,89	0,01	0,01	60,1	18,7
1961–1965	2	54,6	54,46	0,14	0,26	53,4	1,0
1966–1970	3	45,9	46,66	-0,76	-1,66	48,7	-2,1
1971–1975	4	47,0	44,46	2,54	5,40	45,1	-0,6
1976–1980	5	39,2	42,03	-2,83	-7,22	42,1	-0,1
1981–1985	6	37,2	39,58	-2,38	-6,40	39,6	-0,0
1986–1990	7	35,9	37,39	-1,49	-4,15	37,4	0,0
1991–1995	8	35,3	35,46	-0,16	-0,45	35,5	0,0
1996–1999	9	38,5	33,73	4,77	12,39	33,7	0,0

Таблица 9

**Динамика среднегодового объема заготовленной всей древесины,  
% от уровня 1955 г.**

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{P}_{1955}$	Расчетные значения по (8)			Составляющие $P_{1955}$	
			$P_{1955}$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$P_1$	$P_2$
1954–1955	0	99,0	99,24	-0,24	-0,24	93,7	5,6
1956–1960	1	82,7	81,11	1,59	1,92	73,3	7,8
1961–1965	2	59,1	63,07	-3,97	-6,72	52,5	10,6
1966–1970	3	53,6	49,90	3,70	6,90	35,9	14,0
1971–1975	4	42,4	41,62	0,78	1,84	23,8	17,9
1976–1980	5	34,4	37,11	-2,71	-7,88	15,3	21,8
1981–1985	6	33,5	34,67	-1,17	-3,49	9,7	25,0
1986–1990	7	36,0	32,09	3,91	10,86	6,0	26,1
1991–1995	8	24,0	26,37	-2,37	-9,88	3,7	22,7
1996–1999	9	13,7	13,23	0,47	3,43	2,2	11,0

Качество заготовленной древесины вполне возможно оценить по отношению к какому-то году, в нашем исследовании – к лучшему (по качеству лесоматериалов) 1955 г. (100 %).

Доля ликвидного запаса древесины изменяется по уравнению (табл. 9)

$$P_{1955} = 93,67 \exp(-0,2451 i_t^{1,2423}) + 5,5666 \exp(0,3505 i_t) \cos(\pi i_t / 0,5135). \quad (8)$$

Доля заготовленной древесины стремительно убывает до нуля по закону гибели в общей форме. Здесь опасно то, что интенсивность гибели 1,2423 велика и указывает на то, что природа адекватно реагирует на действия заготовителей. Вторая составляющая имеет максимум 26,1 % и уже в

Таблица 10

**Динамика среднегодового процента заготовленной хвойной древесины  
от уровня 1955 г.**

Годы учета	Код $i_t$	Факт $\hat{P}_{x1955}$	Расчетные значения по (9)			Составляющие $P_{x1955}$	
			$P_{x1955}$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$P_{x1}$	$P_{x2}$
1954–1955	0	93,8	93,80	-0,00	-0,00	94,0	-0,2
1956–1960	1	77,2	77,20	-0,00	-0,00	53,7	23,5
1961–1965	2	38,2	38,19	0,01	0,03	38,6	-0,4
1966–1970	3	29,1	29,15	-0,05	-0,17	29,2	-0,1
1971–1975	4	23,6	22,84	0,76	3,22	22,8	0,0
1976–1980	5	16,0	18,20	-2,20	-13,75	18,2	0,0
1981–1985	6	14,7	14,71	-0,01	-0,07	14,7	-0,0
1986–1990	7	15,3	12,03	3,27	2,09	12,0	-0,0
1991–1995	8	10,0	9,93	0,07	0,70	9,9	0,0
1996–1999	9	6,3	8,26	-1,96	31,11	8,3	0,0

первой пятилетке XXI в. произойдет потеря устойчивости экспоненциального роста по типу «идти вразнос». Лесозаготовка будет экстремально влиять на поведение лесных массивов.

Доля хвойной древесины к уровню 1955 г. равна (табл. 10)

$$P_{x1955} = 94,03 \exp(-0,5607 i_t^{0,6678}) + 353,27 \exp(-2,7013 i_t) \cos(\pi i_t / 0,6847 - 4,7117) \quad (9)$$

и убывает еще быстрее, так как амплитуда колебания изменяется также по закону экспоненциальной гибели.

Вторая составляющая имела максимум в 1956–1960 гг., а затем ее влияние исчезло. Если исключить этот случай, то получим следующую модель ( $\Delta_{\max} = 13,50 \%$ ) естественной гибели:

$$P_{x1955} = 93,79 \exp(-0,5661 i_t^{0,6616}) . \quad (9a)$$

Приведенные закономерности подтверждают вывод о том, что качество лесной среды убывает как адекватный отклик на поведение людей [2], использующих технологии хищнического природопользования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуркин П.М. Концепция механизации лесозаготовок требует пересмотра // Лесн. пром-сть. – 1991. – № 12. – С. 21.
2. Мазуркин П.М. Эконометрика России: кризис конца XX века // Теория предвидения и будущее России: Матер. 5-х Кондратьевских чтений. – М.: Ин-т экономики РАН, 1997. – С. 214–222.
3. Мазуркин П.М. Статистическое моделирование. Эвристико-математический подход. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 100 с.
4. Мазуркин П.М. Закономерности устойчивого развития. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 302.
5. Сабанцев Ю.Н., Мазуркин П.М. Статистическое моделирование лесозаготовочных данных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 390 с.

Марийский государственный  
технический университет

Кокшайский лесхоз  
Республики Марий Эл

Тартуский университет (Эстония)

Поступила 18.05.02

*P.M. Mazurkin, E.N. Bedertdinov, P.A. Perov*

#### **Assessment and Forecast of Forest Area Quality**

A new assessment method of continuously changing forest stock quality is shown based on statistical regularities of forest harvesting dynamics in the territory in question. Forest harvesting dynamics in the forest complex of Mari El Republic is analyzed over half a century for every five years.

УДК 658.581.001.57

**В.Н. Шиловский**

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 150 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.



### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ ПОСТАВОК И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗА- ПАСНЫХ ЧАСТЕЙ МЕЖДУ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАЗОБЩЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ**

Представлена вероятностная модель обеспеченности и необеспеченности запасными частями лесозаготовительных машин, позволяющая определить оптимальный объем поставки и распределения запасных частей между территориально разоб- щенными потребителями.

Ключевые слова: лесозаготовительные машины, запасные части, оптимизация по- ставки, распределение, вероятностная модель.

Парк машин лесозаготовительного предприятия, как правило, состо- ит всего из нескольких десятков единиц и характеризуется малым числом отказов за период  $T_n$ , обычно принимаемый равным одному году. Поэтому задача определения оптимального числа запасных частей (ЗПЧ) носит чисто дискретный характер, что дает возможность решать ее с использованием схемы Бернулли (СБ) [1]. Использование СБ предполагает, что за рассмат- риваемый промежуток времени с машиной может произойти только одно из двух событий: объект откажет или не откажет.

Если вероятности двух, трех и более отказов одной машины за пла- новый период таковы, что этими событиями нельзя пренебречь, то необхо- димо многократное использование СБ, т. е. период разбивается на такие ин- тервалы времени, в пределах которых вероятность более одного отказа дос- таточно мала для того, чтобы ее можно было не учитывать.

Разбиение будем считать удовлетворительным, если при дальней- шем удвоении числа интервалов новое значение математического ожидания (МО) числа отказов всех машин предприятия отличается от предыдущего не более чем на 1 ... 3 %. Это условие предполагает суммирование нескольких независимых простейших потоков отказов с любыми законами распределе- ния [2].

Обозначим через  $q_i$  вероятность отказа одной детали в течение  $i$ -го интервала времени с учетом возможных замен на предыдущих интервалах.

Вероятность отказа одной детали в течение  $i$ -го интервала при от- сутствии замен отказавших деталей на предыдущих интервалах

$$f_i = F_i - F_{i-1}, \quad (1)$$

где  $F_i$  – интегральная функция распределения вероятности отказа детали в конце  $i$ -го интервала.

Для первого интервала  $q_1 = f_1$ . Число деталей, отказавших в течение второго интервала, с учетом замен на первом, равно:

$$M_2 = (f_1^2 + f_2)M = (q_1 f_1 + f_2)M, \quad (2)$$

где  $f_1$  – вероятность отказа деталей в первом интервале;

$f_2$  – вероятность отказа во втором интервале при отсутствии замен деталей в первом;

$(q_1 M) f_1$  – число отказавших деталей во втором интервале из  $q_1 M$  деталей, установленных взамен отказавших в первом;

$f_2 M$  – число отказавших деталей во втором интервале из  $M$  деталей, установленных к началу первого интервала.

Для решения данной задачи примем следующий порядок распределения запчастей:

каждый лесопункт (ЛЗП) при отсутствии ЗПЧ вначале обращается к ближайшему их резерву – центральному складу (ЦС) или другому ЛЗП, затем к следующему по удаленности резерву и т. д.;

к резерву любого ЛЗП и ЦС вначале обращается ближайший ЛЗП, затем следующий по удаленности и т. д.

В формализованном виде эти правила обращения представляют собой множество упорядоченных пар натуральных чисел  $W_i(c, t)$ , где  $c$  – номер ЛЗП или ЦС, к которому обращается ЛЗП с номером  $t$ , причем  $c$  принимает одно из следующих значений:  $1, 2, \dots, T, S$ , а  $t = 1, 2, \dots, T$ . Индекс  $i$  – номер обращения, который изменяется от единицы до  $T^2$ , где  $T$  – число ЛЗП. Величина  $S = T + 1$  обозначает номер ЦС.

Функционирование рассматриваемой системы парк машин – резерв ЗПЧ – внешний источник ЗПЧ исследуем с помощью следующей вероятностной модели. Для каждого ЛЗП и любого  $i$ -го интервала времени вводятся две независимые случайные величины. Первая показывает, что на данном  $t$ -м ЛЗП в течение  $i$ -го интервала произошло  $m$  отказов; вероятности этих событий  $P_{i,t}(m)$  задают выражением

$$P_{i,t}(m) = \frac{N_t!}{(N_t - m)! m!} q_i^m (1 - q_i)^{N_t - m}, \quad (3)$$

где  $N_t$  – число машин на  $t$ -м лесопункте.

Вторая случайная величина описывает состояние резерва запасных частей на ЛЗП и показывает, что резерв данного  $t$ -го ЛЗП на интервале  $i$  содержит  $K$  ЗПЧ. Вероятность этих событий будет обозначаться через  $Q_{i,t}(K)$ ,  $K = 0, 1, \dots, K_t$ . Через произведение этих случайных величин задается еще одна группа событий, состоящая в том, что на данном ЛЗП не может быть устранено более  $n$  отказов. Вероятности этих событий будут обозначаться через  $V_{i,t}(n)$  и называться вероятностями  $n$  заявок,  $n = 0, 1, \dots, N_t$ .

Знать вероятности этих трех групп событий достаточно для вычислений МО числа отказов на данном ЛЗП, устраняемых за счет собственного резерва ЗПЧ ЛЗП, резервов других ЛЗП, ЦС и внешнего источника; по этому числу отказов определяют МО суммарных затрат.

Нельзя установить, какой из отказов, происшедших в течение данного интервала времени, произойдет раньше, какой – позже. Считаем, что они происходят одновременно, поэтому резерв данного ЛЗП вначале используется машинами этого ЛЗП, и лишь затем происходит обращение к нему других ЛЗП. Обозначим обращение машин  $t$ -го ЛЗП к собственному резерву запчастей  $K_t$  через  $t \rightarrow t$ , обращение  $t$ -го ЛЗП к  $k$ -му ЛЗП через  $t \rightarrow k$ .

Вероятность наличия  $m$  ЗПЧ на  $t$ -м ЛЗП в интервале времени  $j$  (после обращения  $t \rightarrow t$  на этом интервале к резерву  $K_t$ ) при предположении о независимости отказов в любых двух различных интервалах времени вычисляется по формуле

$$Q_{j,t}(m) = \sum_{c=n-m}^M Q_{j-1,t}(n) P_{j,t}(c), \quad (4)$$

где  $m = 1, 2, \dots, K_t$ ;

$$M = K_t \text{ при } m + N_t \geq K_t;$$

$$M = N_t + m \text{ при } m + N_t < K_t.$$

Значит,

$$Q_{j,t}(0) = 1 - \sum_{m=1}^{K_t} Q_{j,t}(m). \quad (5)$$

Вероятность  $m$  заявок от  $t$ -го ЛЗП в интервале  $j$  после обращения  $t \rightarrow t$  равна:

$$V_{j,t}(m) = \sum_{c=n-m}^M P_{j,t}(n) Q_{j-1,t}(c), \quad (6)$$

где  $m = 1, 2, \dots, N_t$ ;

$$M = N_t \text{ при } m + K_t \geq N_t;$$

$$M = K_t + m \text{ при } m + K_t < N_t;$$

$Q_{j-1,t}(c)$  – вероятность наличия  $c$  ЗПЧ на  $t$ -м ЛЗП по истечении  $(j-1)$ -го интервала.

Значит,

$$V_{j,t}(0) = 1 - \sum_{m=1}^{N_t} V_{j,t}(m). \quad (7)$$

В начальный момент времени  $Q_{0,t}(c)$  задают следующим образом:

$$Q_{0,t}(K_t) = 1; \quad Q_{0,t}(c) = 0 \text{ для } c < K_t.$$

Математическое ожидание числа отказов, устраненных на  $t$ -м ЛЗП в течение  $j$ -го интервала за счет резерва  $K_t$ , равно:

$$\text{МОI}_{j,t} = \sum_{k=1}^{K_t} Q_{j-1,t}(K) A(K), \quad (8)$$

где

$$A(K) = \sum_{m=1}^K m P_{j,t}(m) + K \sum_{n=K+1}^{N_t} P_{j,t}(n) \text{ при } N_t > K; \quad (9)$$

$$A(K) = \sum_{m=1}^K m P_{j,t}(m) \text{ при } K \geq N_t. \quad (10)$$

Вероятность наличия  $m$  ЗПЧ на  $k$ -м ЛЗП на  $j$ -м интервале после обращения  $t \rightarrow k$  вычисляется по формуле, аналогичной формуле (4), но вместо  $Q_{j-1,t}(n)$  и  $P_{j,t}(c)$  будут соответственно  $Q'_{j,k}(n)$  – вероятность наличия на  $k$ -м ЛЗП на  $j$ -м интервале  $n$  ЗПЧ после обращения  $k \rightarrow k$  или  $m \rightarrow k$ , предшествовавшего обращению  $t \rightarrow k$ , и  $V_{j,k}(c)$  – вероятность  $c$  заявок обращения  $t \rightarrow k$ :

$$Q_{j,k}(m) = \sum_{\substack{n=m \\ c=n-m}}^M Q'_{j,k}(n) V_{j,t}(c), \quad (11)$$

где  $m = 1, 2, \dots, K_k$ ;

$M = K_k$  при  $m + N_t < K_k$ ;

$M = N_t + m$  при  $m + N_t < K_k$ .

$$Q_{j,k}(0) = 1 - \sum_{m=1}^{K_k} Q_{j,k}(m). \quad (12)$$

Вероятность  $m$  заявок от  $t$ -го ЛЗП на  $j$ -м интервале после обращения  $t \rightarrow k$  вычисляют по формуле, аналогичной формуле (6):

$$V_{j,t}(m) = \sum_{\substack{n=m \\ c=n-m}}^M V'_{j,t}(n) Q_{j,k}(c), \quad (13)$$

где  $m = 1, 2, \dots, N_t$ ;

$M = N_t$  при  $n + K_k \geq N_t$ ;

$M = K_k + m$  при  $m + K_k \leq N_t$ .

Здесь  $V'_{j,t}(n)$  – вероятность  $n$  заявок от  $t$ -го ЛЗП на  $j$ -м интервале перед обращением  $t \rightarrow k$ , а  $Q_{j,k}(c)$  – вероятность наличия  $c$  ЗПЧ на  $k$ -м ЛЗП на  $j$ -м интервале в момент обращения  $t \rightarrow k$ .

$$V_{j,t}(0) = 1 - \sum_{m=1}^{N_t} V_{j,t}(m). \quad (14)$$

Математическое ожидание числа отказов, устраняемых на  $t$ -м ЛЗП в течение  $j$ -го интервала за счет резерва  $m$ -го ЛЗП при обращении  $t \rightarrow m$ , равно:

$$MO2_{j,t}(m) = \sum_{k=1}^{K_m} Q_{j,m}(K) A(K), \quad (15)$$

где

$$A(K) = \sum_{m=1}^K c V_{j,t}(c) + K \sum_{n=k+1}^{N_t} V_{j,t}(n) \text{ при } N_t > K; \quad (16)$$

$$A(K) = \sum_{c=1}^{N_t} c V_{j,t}(c) \text{ при } K \geq N_t. \quad (17)$$

Здесь  $Q_{j,m}(K)$  и  $V_{j,t}(c)$  – соответственно вероятность наличия  $k$  ЗПЧ на  $m$ -м ЛЗП и вероятность  $c$  заявок от  $t$ -го ЛЗП на  $j$ -м интервале при обращении  $t \rightarrow m$ .

Вычисления по формулам (11), (13), (15) для обращений  $t \rightarrow k$  производятся в последовательности, задаваемой стратегией обращений  $S_i(k, t)$ . Центральный склад формально рассматривается как ЛЗП с резервом в  $K_{(T+1)}$  ЗПЧ, на котором отсутствуют машины, и вероятность  $c$  заявок от ЦС ( $c > 0$ ) равна нулю, а вероятность «нулевой» заявки – единице.

Математическое ожидание числа отказов, устраняемых на  $t$ -м ЛЗП в течение  $j$ -го интервала за счет резерва других ЛЗП и ЦС, равна сумме:

$$T2_{j,t} = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq t}}^{T+1} M\hat{I} 2_{j,t}(m). \quad (18)$$

Математическое ожидание числа отказов, устраняемых на  $t$ -м ЛЗП в течение  $j$ -го интервала за счет ЗПЧ из внешнего источника, равно разности:

$$MO3_{j,t} = MO_{j,t} - MO1_{j,t} - T2_{j,t}, \quad (19)$$

где  $MO_{j,t}$  – МО числа отказов на всех машинах  $t$ -го ЛЗП в течение  $j$ -го интервала.

$$MO_{j,t} = \sum_{c=1}^{N_t} c P_{j,t}(c). \quad (20)$$

Частная задача, в которой каждый ЛЗП имеет доступ лишь к части общего резерва ЗПЧ предприятия (собственному резерву ЦС), решается аналогично, но для другой стратегии обращения. Для этого случая стратегия формулируется в виде следующих правил:

- а) каждый ЛЗП вначале обращается к собственному резерву, а затем к резерву ЦС;
- б) к резерву ЦС вначале обращается ближайший ЛЗП, затем следующий по удаленности и т. д.

Математическое ожидание общих затрат по всему предприятию при всех вариантах поставки и распределения запчастей за весь расчетный период равно:

$$Z = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5, \quad (21)$$

где  $Z1, Z2, Z3, Z4, Z5$  – МО затрат, соответственно связанных с устранением отказов за счет собственных резервов ЛЗП; других ЛЗП или ЦС; ЗПЧ из внешнего источника; на создание резерва ЗПЧ; из-за недоиспользования ЗПЧ.

Минимум МО общих затрат ( $Z$ ) является условием оптимального объема поставки и распределения запасных частей между территориально распределенными потребителями лесозаготовительных машин.

*Выводы*

1. При определении потребности в ЗПЧ за критерий оптимальности необходимо принять минимум суммарных затрат, основными составляющими которых являются потери, связанные с простоями техники как из-за недостатка, так и переизбытка ЗПЧ.

2. Выбор оптимального резерва ЗПЧ невозможен без учета его распределения между отдельными группами машин.

3. Стратегия распределения запчастей между территориально разобщенными потребителями с учетом их оперативного взаимного обращения позволяет на порядок снизить простои ЛЗМ и одновременно общий потребный запас ЗПЧ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попов Ф.П.* Обеспечение лесозаготовительной техники запасными частями. – М.: Экология, 1991. – 144 с.

2. *Шиловский В.Н.* Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. – 324 с.

Петрозаводский государственный  
университет

Поступила 10.02.02

*V.N. Shilovsky*

**Mathematical Model of Supplies Volume Optimization and Spare Parts Distribution among Territorially Scattered Customers**

The probability model of provision and non-provision of spare parts for forest-harvesting machines is provided allowing to set the optimal volume of spare parts supply and distribution among territorially scattered customers.



УДК 625.815.5:691.54.001

*А.М. Краснов*

Краснов Анатолий Митрофанович родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, кандидат технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог Марийского государственного технического университета. Имеет 150 печатных работ по разработке технологий дорожно-строительных материалов.



### **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ПЕСЧАНОГО БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СБОРНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Изложены два принципа формирования структуры высокопрочного песчаного бетона. Представлены расчетные усилия напряженно-деформированных дорожных плит покрытия лесовозных автомобильных дорог, обеспечивающие эксплуатационную долговечность конструкций.

Ключевые слова: цементная матрица, наполнитель, удельное давление, осадки плит.

Рост объемов перевозки пассажиров и грузов различными видами транспорта требует расширения сети автомобильных дорог как общего пользования, так и ведомственных. Дороги должны иметь высокий эксплуатационный уровень и долговечность. К таким дорогам относят сборные покрытия из цементно-бетонных плит, эксплуатация которых без ремонта более продолжительна по сравнению с нежесткими дорожными покрытиями. Их преимущества: круглогодичное производство плит, удлиненный сезонный срок строительства (что особенно важно для северных районов Российской Федерации) и ускоренный ввод в эксплуатацию. Эффективность работы дорожных плит может быть обеспечена применением не только щебня из высокопрочной горной породы, но и местных сырьевых материалов. Например, использование мелкодисперсного наполнителя позволит получить материал, не уступающий по свойствам тяжелым цементным бетонам, и снизить стоимость бетона.

В настоящее время широко обсуждают вопрос о возможности повышения качества мелкодисперсных строительных композитов на основе органических и минеральных вяжущих, что объясняется различной активностью дисперсных наполнителей и их разным химико-минералогическим составом [1–6, 10, 12].

Большое практическое значение имеет изучение физико-механических свойств композиционного материала (КМ) в зависимости от концентрации наполнителя в вяжущем. В создании прочной структуры такого материала следует рассматривать два технологических этапа.

Первый этап – снижение избыточной энергии в системе цементное зерно – вода – микронаполнитель и самопроизвольное объединение частиц дисперсной фазы в структурные агрегаты. Оно имеет место в том случае, когда сумма затрат различных видов энергии частиц ( $W$ ), возникающих при самоорганизации вяжущего, может быть определена по формуле [9, 10]

$$W = W_b + W_R + W_6 + W_{\pi}, \quad (1)$$

где  $W_b$  – потенциальная энергия двух взаимодействующих частиц, получаемая интегрированием сил Ван-дер-Ваальса;

$W_R$  – энергия взаимодействия двух двойных электрических слоев;

$W_6$  – энергия борновского отталкивания (электронное отталкивание при сближении частиц);

$W_{\pi}$  – энергия расклинивающего давления по Б.В. Дерягину.

Ко второму этапу относят внешнее механическое воздействие, при котором упорядочение частиц в КМ, по мнению ряда авторов [3, 10, 13, 14], может зависеть от параметра Грюнайзена ( $Y$ ). Уравнение этого параметра выведено на основании экспериментальных данных о коэффициенте теплового расширения, изотермическом модуле объемного расширения, объеме тела и теплоемкости при постоянном его объеме [14] и выражает изменение частоты нормальных колебаний кристаллической решетки в зависимости от изменения объема кристалла. В конечном виде параметр Грюнайзена выражают по уравнению

$$Y = (E_0 - E) / (LTE_0), \quad (2)$$

где  $E_0$  – модуль Юнга при 0 К;

$E$  – модуль Юнга в естественных условиях;

$L$  – коэффициент линейного расширения;

$T$  – температура.

Поскольку переменные  $P$  (давление) и  $T$  (температура) эквивалентны [3], в уравнении (2) произведем замену параметра  $T$  на  $P$ . Тогда уравнение (2) примет вид

$$Y = (E_0 - E) / (PE_0). \quad (3)$$

Эту формулу можно использовать для описания локального упорядочения фазовых частиц в КМ. Для рассмотрения эффекта этого процесса использована кластерная модель структуры [11], согласно которой твердые частицы упакованы в микрообласти структуры и окружены рыхлоупакованной цементной средой. В микроблоках действуют слабые межчастичные ван-дер-ваальсовы связи и сильные ангармонизмы взаимодействующих диполей частиц. Для диполей  $d_1$  и  $d_2$  при воздействии  $P$  энергия взаимодействия может быть описана уравнением [3]

$$W = -2d_1^2 d_2^2 / (3Th), \quad (4)$$

где  $h$  – расстояние между частицами.

Заменяв  $T$  на  $P$ , получим зависимость взаимодействия диполей  $d_1$  и  $d_2$  от давления:

$$W = -2d_1^2 d_2^2 / (3Ph). \quad (5)$$

Зависимость удельного объема  $V$  от давления может быть записана в соответствии с уравнением [7]

$$V_2 = V_1(1 + \beta\Delta t), \quad (6)$$

где  $\beta$  – коэффициент объемного расширения.

Так как объем и плотность обратно пропорциональны друг другу ( $P_1/P_2 = V_2/V_1$ ), то можно записать  $P_1 = P_2(1 + \beta\Delta t)$ . Отсюда получаем зависимость

$$P_2 = P_1 / (1 + \beta\Delta t). \quad (7)$$

Формула (7) справедлива для твердых тел. В этом случае величину  $\beta$  следует заменить на  $3\alpha$  (где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения), а  $P$  – на среднюю плотность композиционного материала  $\gamma$ . Тогда формулу (7) можно записать в виде

$$\gamma_2 = \gamma_1 / (1 + 3\alpha\Delta t). \quad (8)$$

Для определения средней плотности высокопрочного мелкозернистого песчаного бетона (ВМПБ)  $\gamma_2$  необходимо определить значение  $\Delta t$ . Его находят из уравнения обжатого твердого тела в силу структурной неразличимости структурной плотности ВМПБ [8]:

$$F = ES \left\{ 1 - \frac{l}{l_0} \left[ 1 + \alpha (T - T_0) \right] \right\}, \quad (9)$$

где  $F$  – обобщенная сила обжатия, Н;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$S$  – площадь поперечного сечения стержня, см<sup>2</sup>;

$l$  – длина стержня, см.

В дальнейшем будем считать для плотного стержня величины  $E$  и  $\alpha$  постоянными, а  $T - T_0 = \Delta t$ . Раскрывая скобки в формуле (9), получаем:

$$F = ES \left( 1 - \frac{l}{l_0} - \alpha \frac{l}{l_0} \Delta t \right), \quad (10)$$

где  $l/l_0$  – отношение, близкое к единице.

Сила  $F$ , отнесенная к площади  $S$ , означает удельное давление формирования песчано-цементной смеси:  $F/S = P_{уд}$ . Тогда формула (10) примет вид

$$P_{уд} = -E\alpha \Delta t, \quad (11)$$

следовательно,

$$\Delta t = -P_{уд} / (E\alpha). \quad (12)$$

Подставляя  $\Delta t$  в уравнение (8), получаем среднюю плотность песчаного бетона:

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_1}{1 - \frac{3P_{\text{уд}}}{E}}. \quad (13)$$

По выражению (13) при известных  $\gamma_1$ ,  $P_{\text{уд}}$ ,  $E$  можно вычислить среднюю плотность высоконаполненной цементно-песчаной смеси во влажном состоянии, уплотненной под удельным давлением  $P_{\text{уд}} = 0,0131$  МПа. Это значение  $P_{\text{уд}}$  было получено автором расчетным путем и подтверждено экспериментально:

$$\gamma = \gamma_2 = \frac{2050}{1 - \frac{3 \cdot 0,131}{2,5E}} = \frac{2050}{1 - 0,1572} \approx 2432 \text{ кг/м}^3.$$

Средняя плотность ВМПБ в воздушно-сухом состоянии  $\gamma = 2332 \text{ кг/м}^3$ .

Из работы [3] известно, что увеличение удельного объема структурной единицы модели кластера нижнего масштабного уровня можно объяснить изменением среднего числа молекул в структурной единице за счет изменения расстояния между молекулами или между твердыми частицами наполнителя в более высоком масштабном уровне, вплоть до дискретных блоков (рис. 1, а). При продолжительном механическом воздействии (вибрации) первоначальные структуры могут быть нарушены и доведены до упорядоченной решетчатой структуры с расстоянием между частицами  $2h_0$  (рис. 1, б). Использование разночастотной вибрации ( $f = 47$  Гц и  $f = 167$  Гц) позволит уменьшить толщину двухслойной сферы цементной пленки менее чем на 1,4 мкм [2] (рис. 1 в, г). При этом повышается плотность матричной системы за счет проникновения граничных слоев матрицы смежных частиц кварцевого наполнителя, возрастает контакт частиц, физическая адсорбция и хемосорбция. Более плотная структура КМ вызывает увеличение поверхностного контакта, эффективную передачу внешнего усилия на все частицы

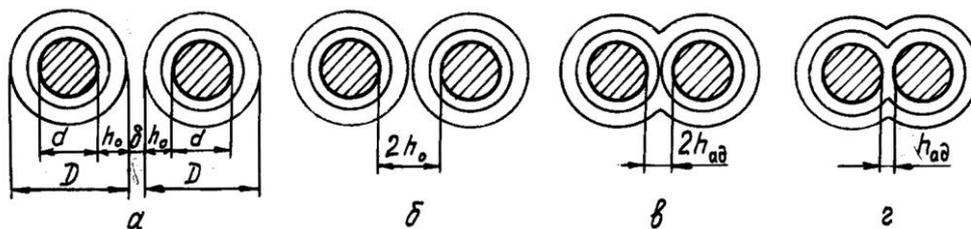
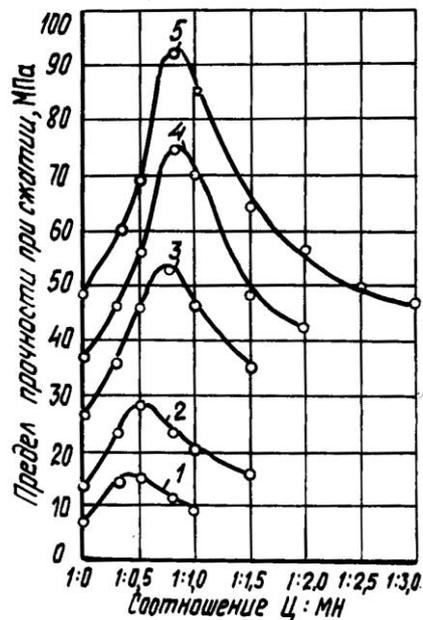


Рис. 1. Модели взаимодействия двух частиц наполнителя через граничные слои матрицы: а – в рыхлосвязном состоянии; б – прессованном; в – вибропрессованном; г – поливибропрессованном;  $h_0$  – проникаемые оболочки сферы из цементной пленки;  $\delta$  – расстояние дальнего действия частиц наполнителя;  $d$  – диаметр частиц наполнителя;  $D$  – диаметр частиц наполнителя со сферой из двух слоев;  $h_{\text{ад}}$  – толщина адсорбционного слоя

Рис. 2. Влияние механического воздействия виброуплотнения цементно-песчаной смеси на структурную прочность мелкозернистого песчаного бетона с наполнителем при расходе цемента  $306 \text{ кг/м}^3$ : 1 – уплотнение без пригрузки; 2 – с пригрузкой при  $P_{уд} = 0,0036 \text{ МПа}$ ; 3 – то же при  $P_{уд} = 0,0131 \text{ МПа}$ ; 4 – разночастотное виброуплотнение с  $P_{уд} = 0,0131 \text{ МПа}$ ; с отдельным вводом наполнителя и цемента; 5 – то же при совместном вводе наполнителя и цемента при их помоле при удельной поверхности  $S_{уд} = 450 \text{ м}^2/\text{кг}$



наполнителя при полном смачивании их цементной матрицей. Этим можно объяснить усиливающееся сопротивление КМ разрушению от внешней нагрузки и рост прочности материала при оптимальной объемной концентрации наполнителя в структуре песчаного бетона (рис. 2). Жесткий структурный каркас с наполнителем улучшает физико-механические свойства композита.

Увеличение содержания наполнителя в матрице вяжущего при малом расходе последнего ( $306 \text{ кг/м}^3$ ) приводит к снижению прочностных свойств – разупрочнению структуры бетона. Это объясняется недостаточным содержанием связующего из цементного теста. Пленочная матрица перфорированно покрывает поверхность наполнителя с образованием пористого пространства в структуре композита. Уменьшается объем структурных связей между частицами наполнителя, наблюдается их неравномерное распределение по объему, что приводит к внутренним напряжениям и снижению прочности композита.

Спадающая ветвь прочностных значений сверх оптимальной концентрации наполнителя (рис. 2) наблюдается независимо от величины и способа уплотняющего воздействия цементно-песчаной смеси. Со снижением удельного давления на смесь оптимальная концентрация наполнителя в матрице вяжущего при одном и том же его расходе ( $306 \text{ кг/м}^3$ ) уменьшается и при гравитационном формовании составляет 25 ... 30 % от объемной доли матрицы КМ. При разночастотном виброуплотнении смеси и  $P_{уд} = 0,0131 \text{ МПа}$  концентрация наполнителя составила 80 %.

Использование в технологии получения мелкозернистого песчаного бетона таких факторов, как высокое наполнение цементной матрицы дисперсными частицами кварцевого песка и разночастотное виброуплотнение смеси при формировании оптимальной структуры мелкозернистого композита, улучшает физико-механические характеристики материала.

В индивидуальном производстве плит тяжелый цементный бетон на щебне можно заменить высоконаполненным мелкозернистым песчаным бетоном высокой прочности, особенно при строительстве kolejных сборно-разборных лесовозных дорог в районах с суровыми климатическими условиями.

Предварительные исследования конструкций дорожных плит из этого материала показали, что под воздействием колесных нагрузок, приложенных к углу и вдоль крайних зон плит колесопровода автопоезда МАЗ-509А+ГКБ-9383, равных для автомобиля-тягача  $P_1 = 32,5$  и  $P_2 = 89,18$  кН и прицепа-ропуса  $P_4 = P_5 = 61,75$  кН при использовании коэффициентов динамичности  $K_d = 1,3$  и перегрузки  $K_{пер} = 1,4$ , плиты размером  $3,0 \times 1,5 \times 0,16$  м выдерживают расчетные напряжения от отрицательных моментов  $M_y = -88,8$  кН·м с увеличением армирования сечения плит до 1,1% при конструктивном армировании 0,1 %.

Геометрические размеры плит ( $3,0 \times 1,5 \times 0,16 \dots 3,0 \times 1,5 \times 0,08$  и  $3,0 \times 1,0 \times 0,16$  м) оказывают влияние на расчетные значения изгибающих моментов, положительных и отрицательных осадок, армирование, давление плит на грунтовое основание. Чем меньше толщина плиты и ее ширина, тем выше отрицательные осадки (отрыв угла плит от грунтового основания) и все указанные выше расчетные значения.

При строительстве kolejных лесовозных автомобильных дорог для исключения отрыва углов (5 ... 7 см) первых въездных плит колесопровода необходимо предусмотреть их закрепление в грунтовом основании.

В табл. 1 представлены расчетные значения показателей напряженно-деформированного состояния первых въездных плит левого и правого колесопровода kolejного покрытия лесовозной автомобильной дороги в зависимости от толщины плит, имеющих размеры в плане  $3,0 \times 1,5$  м.

Данные, полученные по программе «OL PLATE»: «Расчет железобетонных фундаментных плит на грунтовом основании» говорят о том, что прочность и армирование плит представленных размеров удовлетворяют требованиям, предъявляемым к строительству kolejных покрытий лесовозных автомобильных дорог. В табл. 2 приведены основные расчетные характеристики напряженно-деформированных плит kolejного покрытия в зависимости от воздействий колесных нагрузок автопоезда МАЗ-509А+ГКБ-9383 при  $E_0 = 31 \cdot 10^3$  МПа; расчетных нагрузках с первой



Таблица 2

Серия расчетной схемы (код)	Размер плит, м	Зона приложения нагрузки $P_2$	Среднее давление плиты на грунтовое основание, кПа	Средний расход арматуры на 1 км колейного покрытия, т	Расход бетона на 1 км колейного покрытия, м <sup>3</sup>	Площадь покрытия из плит, м <sup>2</sup>
KR-1	3,0×1,5×0,16	Посередине	132	16,11	477,8	3000
KR-2	3,0×1,5×0,16	В продольном торце по середине	138	16,83	477,8	3000
KR-4	3,0×1,5×0,16	То же	134	16,28	477,8	3000
KR-5	3,0×1,5×0,16	В углу плиты	133	16,33	477,8	3000
SKP-11	3,0×1,5×0,14	То же	128	13,78	422,3	3000
SP-11	3,0×1,5×0,10	»	130	10,72	300,0	3000
SP-12	3,0×1,5×0,08	»	133	9,4	239,0	3000

входной плиты  $P_{4,5} = 61,75$  кН;  $P_2 = 89,18$  кН;  $P_1 = 32,5$  кН. Эти данные позволяют констатировать возможность использования мелкозернистого песчаного бетона высокой прочности в строительстве сборных покрытий автомобильных дорог.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобрышев А.Н. и др. Эффект усиления свойств в дисперсно-наполненных композитах /А.Н. Бобрышев, В.И. Калашников, Д.В. Квасов и др. // Строительство и архитектура. – 1996. – № 2. – С. 48–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Бобрышев А.Н. и др. Синергетика композиционных материалов /А.Н. Бобрышев, В.Н. Козомазов, Л.О. Бабин, В.И. Соломатов // Липецк: НПО «Ориус», 1994. – 153 с.
3. Бредихин В.В. Параметр Грюнайзена и локальный порядок в композиционных материалах // Строительство и архитектура. – 1997. – № 1–2. – С. 32–36. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Каримов И.Ш. Тонкодисперсные минеральные наполнители в составах цементных композиций: Дис... канд. техн. наук. – СПб., 1996.
5. Краснов А.М. Влияние поливибрационного уплотнения и микронаполнителя песчаной бетонной смеси на физико-механические характеристики // Совершенствование автомобильных дорог и искусственных сооружений на Северо-Западе РСФСР: Межвуз. тематич. сб. тр. / ЛИСИ. – Л., 1987. – С. 28–134.
6. Краснов А.М. Поливибрационный высокопрочный песчаный бетон // Строительные и дорожные машины и их использование в современных условиях: Тез. докл. респ. НТК. – СПб., 1995. – С. 152–155.
7. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
8. Румер Ю.Б., Рывкин М.С. Термодинамика, статическая физика и кинематика. – М.: Наука. 1977. – 552 с.

9. Соломатов В.И., Бредихин В.В. Влияние полиструктурности цементного камня на эффективность термообработки бетона // Строительство. – 1995. – № 1. – С. 41–45. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Соломатов В.И., Бредихин В.В. О силах взаимодействия в дисперсной системе // Строительство и архитектура. – 1996. – № 3. – С. 49–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Соломатов, В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах Мд. Интенсивная технология бетонов. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 260.

12. Чернышев, Е.М., Дзяченко Е.Д. Силовые взаимодействия в структуре строительных композитов – фундаментальная проблема их материаловедения и технологии // Строительство и архитектура. – 1996. – № 3. – С. 43–48. – (Изв. высш. учеб. заведений).

13. Knopoff L., Shapiro J.N. Gruneisen parameter for liguids // Plys. Rev. B: Solid State. – 1970. – Vol. 1, N 10. – P. 3893–3895.

14. Shen M. Gruneuse function of semicrystalline polymers // Polimer Engng. Sei. – 1979. – Vol. 19, N 4. – P. 995–999.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 16.01.03

*A.M. Krasnov*

### **On Use of Fine-aggregate Sandy Concrete in Construction of Pre-cast Coating of Motor Roads**

Two principles of forming structure of high-strength sandy concrete are provided. Rated forces of deformation road slabs for forest truck roads providing operational life of constructions are presented.

---

УДК 621.798.4: 630\*848.7

**П.Ф. Войтко, А.С. Фадеев**

Войтко Петр Филиппович родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Марийский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры транспорта леса Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл. Имеет 80 печатных работ в области водного транспорта леса и лесоперевалочных процессов.



### **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ ГРАВИТАЦИОННЫМИ ТОРЦЕВЫРАВНИВАТЕЛЯМИ**

Составлены три математические модели формирования пакетов круглых лесоматериалов перед погрузкой в транспортные средства.

Ключевые слова: математическая модель, формирование лесных грузов, гравитационные торцевывравниватели.

Институт ВКНИИВОЛТ совместно с МарГТУ разработали гравитационные торцевывравниватели К-127, К-142, К-153 к башенным и порталным кранам для формирования лесных грузов перед погрузкой в транспортные средства (автомобили, суда, железнодорожные платформы и полувагоны).

Проблеме формирования лесных грузов гравитационными торцевывравнивателями посвящены работы Я.И. Виноградова, И.П. Донского, М.В. Борисова, В.Е. Игутова, Н.Е. Варакса, В.М. Филашова, К.А. Свиридюка, Д.И. Николенко и других исследователей [1, 2, 4–8 и др.].

Целью нашей работы является обоснование математической модели формирования пакетов круглых лесоматериалов гравитационными торцевывравнивателями. С одной стороны, она должна быть простой для практического применения, а с другой – достаточно точно описывать исследуемый процесс и давать возможность определить максимальные усилия торцевания, развиваемые поворотным щитом.

Сопоставляли следующие модели, составленные с использованием: уравнений статики; общего уравнения динамики; дифференциальных уравнений Лагранжа II рода. Исследуем каждую из них.

1. Рассмотрим принципиальную схему сил, действующих на гравитационный торцевывравнивающий щит Г-образной формы при выравнивании торцов круглых лесоматериалов (рис. 1), который может поворачиваться под действием силы тяжести пачки  $G/2$  относительно оси  $O$ .

Щит, шарнирно закрепленный в точке  $O$ , имеет одну степень свободы, а положение горизонтальной части щита длиной  $l_0 + l_{01}$  определяет положение торцов круглых лесоматериалов. При взаимодействии торцов бревен с вертикальной частью щита возникают нормальная составляющая сила  $N$  и сила тре-

ния скольжения  $F_{тр}$  торцов по внутренней поверхности щита, направленная в противоположную сторону движения пачки бревен (вдоль вертикальной части

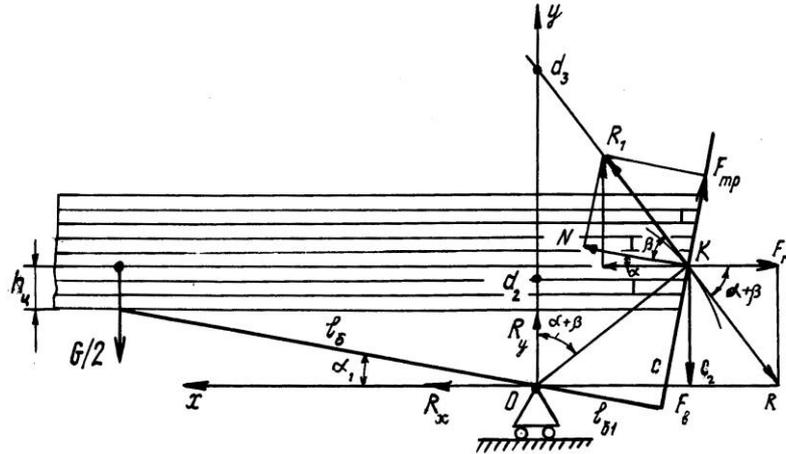


Рис. 1. Схема сил, действующих на поворотный щит гравитационного торцевывравнивателя

щита вверх). Равнодействующая сила  $R_1$  направлена по касательной к траектории движения точки  $K$  (перпендикулярна к отрезку  $OK$ ). Она наклонена под углом  $\beta$  к нормальной реакции  $N$ . Коэффициент трения скольжения торцов  $\varphi$  круглых лесоматериалов по вертикальной части торцевывравнивающего щита равен  $\operatorname{tg} \beta$ .

Разложим равнодействующую силу  $R = R_1$  на горизонтальную составляющую  $F_r$ , перемещающую торцы круглых лесоматериалов внутрь пачки, и вертикальную  $F_b$ , вызывающую кострение торцов. При взаимодействии вертикальной части торцевывравнивающего щита с выступающими торцами круглых лесоматериалов равнодействующая  $R$  направлена в сторону, противоположную  $R_1$ .

Допустим, что под действием сил тяжести пачки бревен  $G_{п}/2$  щит поворачивается относительно оси  $O$ , а его горизонтальная часть  $l_6$  наклонена к горизонту под углом  $\alpha_1$ , тогда равнодействующая  $R$  будет наклонена к горизонту под углом  $\alpha_1 + \beta$ . Следовательно,

$$F_r = -R \cos(\alpha_1 + \beta); \quad (1)$$

$$F_b = -R \sin(\alpha_1 + \beta) \quad (2)$$

или

$$F_b = F_r \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta). \quad (3)$$

Из приведенной схемы сил (рис. 1) видно, что  $N = R_1 \cos \beta$ ;  $R_1 = R$ , откуда

$$R = N / \cos \beta. \quad (4)$$

Подставим в формулы (1) и (2) выражение  $R$  из (4):

$$F_r = -N \cos(\alpha_1 + \beta) / \cos \beta; \quad F_b = -N \sin(\alpha_1 + \beta) / \cos \beta.$$

После преобразования получим

$$F_r = -N(\cos\alpha_1 - \operatorname{tg}\beta \sin\alpha_1); \quad (5)$$

$$F_b = -N(\sin\alpha_1 - \operatorname{tg}\beta \cos\alpha_1). \quad (6)$$

Найдем  $N$  из (5):

$$N = -F_r / (\cos\alpha_1 - \operatorname{tg}\beta \sin\alpha_1). \quad (7)$$

Подставим  $N$  из (7) в (6), тогда

$$F_b = F_r(\sin\alpha_1 + \operatorname{tg}\beta \cos\alpha_1) / (\cos\alpha_1 - \operatorname{tg}\beta \sin\alpha_1). \quad (8)$$

Разделим числитель и знаменатель выражения (8) на  $\cos\alpha_1$ :

$$F_b = F_r(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\beta) / (1 - \operatorname{tg}\beta \operatorname{tg}\alpha_1) = F_r \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta). \quad (9)$$

Выражения (9) и (3) идентичны.

Составим уравнения равновесия системы сил, используя уравнения статики [3].

Первое уравнение:

$$\sum x = 0: R_x + R_1 \cos(\alpha_1 + \beta) = 0,$$

отсюда

$$R_x = -R_1 \cos(\alpha_1 + \beta). \quad (10)$$

Подставив в (10)  $R = R_1$  из (1), получим

$$R_x = F_r.$$

Второе уравнение:

$$\sum y = 0: -G_n/2 + R_y + R \sin(\alpha_1 + \beta) = 0,$$

отсюда

$$R_y = G_n/2 - R \sin(\alpha_1 + \beta). \quad (11)$$

После подстановки выражения  $-R \sin(\alpha_1 + \beta)$  из (2) в (11) находим

$$R_y = G_n/2 + F_b.$$

Третье уравнение:

$$\sum m_o = 0: (G_n/2) l_6 \cos\alpha + R \cdot OK = 0,$$

отсюда

$$R = -G_n l_6 \cos\alpha_1 / 2OK. \quad (12)$$

Подставив  $R$  из (1) в (12), получим

$$F_r = G_n l_6 \cos\alpha_1 \cos(\alpha_1 + \beta) / 2OK. \quad (13)$$

Выражение для  $OK$  найдем из элементарных геометрических построений (рис. 1):

$$OK = [l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) - h_{11} \cos\beta + l_6 \sin\alpha_1 \cos\beta] / \cos\alpha_1. \quad (14)$$

Подставляя  $OK$  из (14) в (13), после преобразований находим

$$F_r = \frac{(G_i / 2) l_a \cos^2 \alpha_1}{l_{a1} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) - \frac{h_6 \cos \beta}{\cos(\alpha_1 + \beta)} + \frac{l_a \sin \alpha_1 \cos \beta}{\cos(\alpha_1 + \beta)}}. \quad (15)$$

Проверим полученное выражение (15), для чего используем теорему моментов: момент равнодействующей силы относительно точки равен сумме моментов ее составляющих [2]. Разложим равнодействующую силу  $R$  на две составляющие  $F_r$  и  $F_b$  (рис. 1) и запишем уравнение моментов относительно точки  $O$ :

$$(G_n/2) l_6 \cos \alpha_1 - F_r (h_u + l_6 \sin \alpha_1) - F_b [(l_{61} / \cos \alpha_1) + (l_6 \sin \alpha_1 + h_u) \operatorname{tg} \alpha_1] = 0.$$

Отсюда находим

$$(G_n/2) l_6 \cos \alpha_1 = F_r (h_u + l_6 \sin \alpha_1) + F_b [(l_{61} / \cos \alpha_1) + (l_6 \sin \alpha_1 + h_u) \operatorname{tg} \alpha_1]. \quad (16)$$

Подставляя в (16)  $F_b$  из (9), получаем

$$(G_n/2) l_6 \cos \alpha_1 = F_r (h_u + l_6 \sin \alpha_1) + F_r \operatorname{tg} (\alpha_1 + \beta) [(l_{61} / \cos \alpha_1) + (l_6 \sin \alpha_1 + h_u) \operatorname{tg} \alpha_1],$$

откуда найдем усилие торцевания  $F_T = F_r$ :

$$F_T = \frac{(G_i / 2) l_a \cos \alpha_1}{(h_6 + l_a \sin \alpha_1) + \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) \left[ \frac{l_{a1}}{\cos \alpha_1} + (l_a \sin \alpha_1 + h_6) \operatorname{tg} \alpha_1 \right]}. \quad (17)$$

Преобразуем знаменатель в выражении (17):

$$F_T = (G_n / 2) l_6 \cos^2 \alpha_1 / [l_{61} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) - h_u \cos \beta / \cos(\alpha_1 + \beta) + l_6 \sin \alpha_1 \cos \beta / \cos(\alpha_1 + \beta)]. \quad (18)$$

Выражение (18) идентично (15).

2. Составим дифференциальное уравнение движения торцевывающего щита Г-образной формы при взаимодействии торцов бревен с вертикальной частью щита, используя общее уравнение динамики для данной системы сил [3]. К рассматриваемой системе приложим задаваемую силу тяжести пачки  $G_n/2$ . К этой силе добавим момент от равнодействующей силы  $R$  относительно оси поворота точки  $O$ . Так как пачка опускается вниз, то к ней приложена сила инерции  $I_1$ , направленная вверх (в противоположную сторону). Обозначим ординату опускания пачки через угол поворота горизонтальной части Г-образного щита рычага:

$$y_n = l_6 \sin \alpha_1. \quad (19)$$

Найдем производные по времени выражения (19):

$$\dot{y}_1 = \alpha_1 l_6 \cos \alpha_1; \quad \ddot{y}_1 = \ddot{\alpha}_1 l_6 \cos \alpha_1 + \dot{\alpha}_1 l_6 (-\sin \alpha_1) \dot{\alpha}_1.$$

Отсюда

$$\ddot{y}_i = l_6(\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \dot{\alpha}_1^2 \sin \alpha_1). \quad (20)$$

При опускании пачки горизонтальная часть щита получит возможное перемещение в направлении уменьшения угла на величину  $\delta\alpha_1$ . Перемещение пачки по вертикали выразим через  $\delta\alpha_1$ , для этого вычислим вариацию выражения (19):

$$\delta y_{\text{п}} = l_6 \cos \alpha_1 \delta \alpha_1.$$

Сила инерции, действующая на пачку, равна

$$I_1 = m \ddot{y}_i.$$

Масса пачки  $m = G_{\text{п}}/2g$ , а ускорение находим по выражению (20), тогда

$$I_1 = (G_{\text{п}}/2g) l_6(\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \dot{\alpha}_1^2 \sin \alpha_1).$$

Составим общее уравнение динамики для данной системы сил и приравняем нулю сумму работ задаваемых сил и сил инерции на возможных перемещениях точек системы:

$$G_{\text{п}}/2g \delta y_{\text{п}} + I_1 \delta y_{\text{п}} + m_{R(0)} \delta \alpha_1 = 0. \quad (21)$$

Подставим в (21) выражение  $\delta y_{\text{п}}$ ,  $I_1$ ,  $m_{R(0)}$  и почленно сократим уравнение (21) на  $\delta \alpha_1$ , тогда

$$\begin{aligned} & -G_{\text{п}} l_6 \cos \alpha_1 \delta \alpha_1 / 2g + G_{\text{п}} l_6 (\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \dot{\alpha}_1^2 \sin \alpha_1) l_6 \cos \alpha_1 \delta \alpha_1 / 2g + \\ & + R [l_{61} I_1 \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{\text{ц}} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] / \cos \alpha_1 \delta \alpha_1 = \\ & = G_{\text{п}}/2 l_6 \cos \alpha_1 + G_{\text{п}}/2g l_6^2 \cos \alpha_1 (\alpha_1 \cos \alpha_1 - \alpha_1^2 \sin \alpha_1) + \\ & + R / \cos \alpha_1 [l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{\text{ц}} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Так как нас интересует усилие торцевания  $F_{\text{т}}$ , то в (22) подставим значение  $R$  из (1), тогда

$$\begin{aligned} & -G_{\text{п}} l_6 \cos \alpha_1 / 2g + G_{\text{п}} l_6^2 \cos \alpha_1 / 2g (\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \dot{\alpha}_1^2 \sin \alpha_1) + \\ & + F_{\text{т}} \frac{l_{a1} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_6 \cos \beta + l_a \cos \beta \sin \alpha_1}{\cos(\alpha_1 + \beta)} = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Выразим угловую скорость и ускорение через линейные. Из выражения (20) найдем угловую скорость

$$\dot{\alpha}_1 = \dot{y}_i / l_6 \cos \alpha_1 \text{ или } \dot{\alpha}_1 = l_6 (\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 - \dot{y}_i^2 \sin \alpha_1 / l_a^2 \cos^2 \alpha_1), \quad (24)$$

откуда

$$\ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 = \ddot{y}_i / l_6 + \dot{y}_i^2 \sin \alpha_1 / l_6 \cos^2 \alpha_1. \quad (25)$$

Подставим (24) и (25) в (23), после преобразования получим

$$- G_{\Pi} l_6 \cos \alpha_1 \ddot{y} / 2g = \frac{G_i}{2} l_6 \cos \alpha_1 - F_T \frac{l_{a1} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_6 \cos \beta + l_a \cos \beta \sin \alpha_1}{\cos \alpha_1 \cos(\alpha_1 + \beta)}. \quad (26)$$

По формуле (26) определим усилие торцевания

$$F_T = \frac{G_i l_a \cos^2 \alpha_1 (g - \ddot{y})}{2g \left[ l_{a1} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) + \frac{h_6 \cos \beta}{\cos(\alpha_1 + \beta)} + \frac{l_a \cos \beta \sin \alpha_1}{\cos(\alpha_1 + \beta)} \right]}. \quad (27)$$

3. Теперь составим дифференциальное уравнение движения Г-образного щита торцевывравнителя при соприкосновении торцов бревен с вертикальной частью торцевывравнивающего щита, используя уравнение Лагранжа II рода [1]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha_1} = G_{\alpha}.$$

Определим обобщенную силу  $G_{\alpha}$ , для этого вычислим сумму работ внешних сил на возможных перемещениях точек системы, соответствующих обобщенному возможному перемещению  $\delta \alpha_1$ :

$$\delta A = \delta A(G_{\Pi}/2) - \delta A(M_{R0}). \quad (28)$$

Элементарная работа силы тяжести пачки  $G_{\Pi}/2$  равна

$$\delta A(G_{\Pi}/2) = G_{\Pi} l_6 \cos \alpha_1 \delta \alpha_1 / 2. \quad (29)$$

Элементарная работа от момента  $M_{R0}$  равнодействующей силы (рис. 1) равна  $\delta A = (M_{R0}) = R OK \delta \alpha_1$ , или с учетом (14)

$$\delta A(M_{R0}) = R[l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{\Pi} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] \delta \alpha_1 / \cos \alpha_1. \quad (30)$$

Работа от момента  $M_{R0}$  отрицательна, так как направление момента равнодействующей  $R$  относительно точки поворота  $O$  и возможные перемещения  $\delta \alpha_1$  противоположны. Подставляя (29) и (30) в (28), получаем

$$\delta A = \delta \alpha_1 \{ G_{\Pi} l_6 \cos \alpha_1 / 2 - R[l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{\Pi} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] / \cos \alpha_1 \}. \quad (31)$$

Обобщенной силой  $G_{\alpha}$  является коэффициент, записанный в фигурных скобках выражения (31):

$$G_{\alpha} = G_{\Pi} l_6 \cos \alpha_1 / 2 - R[l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{\Pi} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] / \cos \alpha_1. \quad (32)$$

Так как нас интересует  $F_T = F_{\Gamma}$ , то во второе слагаемое выражения (32) вместо  $R$  подставим его выражение из (1), тогда

$$G_{\alpha} = G_{\Pi} l_6 \cos \alpha_1 / 2 - F_T [l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{\Pi} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] / \cos \alpha_1 \cos(\alpha_1 + \beta). \quad (33)$$

Вычислим кинетическую энергию системы, состоящей только из кинетической энергии силы тяжести пачки бревен  $G_{\Pi}$ :

$$T = mV^2/2. \quad (34)$$

Масса пачки бревен  $m = G_n/2g$ , а линейная скорость  $V = \dot{\alpha}_1 l_6 \cos \alpha$ .

Подставляя в (34)  $m$  и  $V$ , находим

$$T = G_n \dot{\alpha}_1^2 l_a^2 \cos^2 \alpha_1 / 2g. \quad (35)$$

Частная производная выражения (35) по обобщенной скорости  $\delta \dot{\alpha}_1$  равна

$$\partial T / \partial \dot{\alpha}_1 = \frac{G_n}{g} \dot{\alpha}_1 l_a^2 \cos^2 \alpha_1. \quad (36)$$

Теперь возьмем производную по времени от выражения (36):

$$d/dt(\partial T / \partial \dot{\alpha}_1) = (\ddot{\alpha}_1 G_n l_a^2 \cos^2 \alpha_1 - \dot{\alpha}_1^2 G_n l_a^2 2 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1) / g. \quad (37)$$

Найдем частную производную от кинетической энергии по обобщенной координате  $\alpha_1$ :

$$\partial T / \partial \alpha_1 = -\dot{\alpha}_1 G_n l_a^2 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 / 2g. \quad (38)$$

Подставив выражения (33), (37) и (38) в уравнение Лагранжа, после преобразований получим дифференциальное уравнение движения торцевывравнивающего щита при соприкосновении с выступающими торцами бревен:

$$\ddot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_1^2 \operatorname{tg} \alpha_1 - g / l_6 \cos \alpha_1 + F_\tau 2g [l_{61} \sin(\alpha_1 + \beta) + h_{ц} \cos \beta + l_6 \cos \beta \sin \alpha_1] / G_n l_6^2 \cos^3 \alpha_1 \cos(\alpha_1 + \beta) = 0. \quad (39)$$

Из выражения (39) найдем искомую силу торцевания  $F_\tau$ , развиваемую поворотным щитом, которая после замены угловой скорости и углового ускорения щита на линейные примет вид

$$F_\tau = \frac{G_n l_a^2 \cos^2 \alpha_1 (g - \ddot{y})}{2g \left[ l_{a1} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) + \frac{h_6 \cos \beta}{\cos \beta (\alpha_1 + \beta)} + \frac{l_a \cos \beta \sin \alpha_1}{\cos(\alpha_1 + \beta)} \right]}. \quad (40)$$

Из выражения (40) следует, что усилие торцевания, развиваемое поворотным щитом гравитационного торцевывравнивателя, зависит от веса пачки  $G_n$ , ускорения движения пачки круглых лесоматериалов  $\ddot{y}$ ; угла поворота торцевывравнивающего щита  $\alpha_1$ ; расположения центра тяжести пачки  $h_{ц}$ ; соотношения длин горизонтальной части щита  $l_6$  и  $l_{61}$  от оси его поворота. Возможны следующие случаи движения пачки в торцевывравнивателе.

1. Если пачка круглых лесоматериалов опускается в торцевывравниватель равномерно, что наблюдается при работе крана со строповыми захватами, т. е.  $\ddot{y} = 0$ , то выражение (40) примет вид

$$F_T = \frac{G_i l_a \cos^2 \alpha_1 / 2}{l_{a1} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) + \frac{h_0 \cos \beta}{\cos(\alpha_1 + \beta)} + \frac{l_a \cos \beta \sin \alpha_1}{\cos(\alpha_1 + \beta)}}. \quad (41)$$

2. Если пачка круглых лесоматериалов опускается в торцевывравнитель с ускорением, равным ускорению свободного падения тел  $\ddot{y} = g$ , то выражение (40) примет вид

$$F_T = \frac{G_i l_a \cos^2 \alpha_1}{l_{a1} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \beta) + \frac{h_0 \cos \beta}{\cos(\alpha_1 + \beta)} + \frac{l_a \cos \beta \sin \alpha_1}{\cos(\alpha_1 + \beta)}}. \quad (42)$$

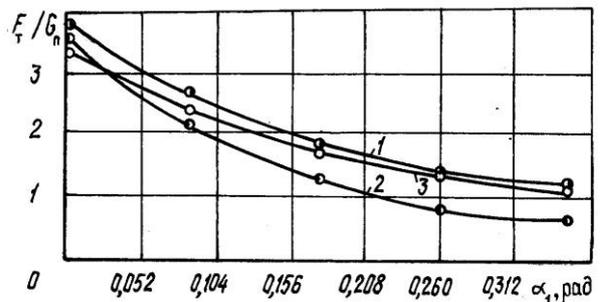
Следовательно, при опускании пачки круглых лесоматериалов с ускорением, равным ускорению свободного падения тел, усилие торцевания, развиваемое поворотным щитом гравитационного торцевывравнителя, возрастет в два раза.

3. Если пачку круглых лесоматериалов опускать в торцевывравнитель с ускорением  $\ddot{y} \leq -gn$ , где  $n = (0,1; 0,2; \dots; 1,0)$ , то усилие торцевания, развиваемое поворотным щитом гравитационного торцевывравнителя, будет больше на величину  $K$ :

$$K = (g - \ddot{y}) / g = g - (-gn) / g = g(1 + n) / g.$$

Опускание пачки круглых лесоматериалов в торцевывравнитель с ускорением осуществляется, если кран оснащен грейферным захватом.

Рис. 2. График зависимости  $F_T/G_n = f(\alpha_1)$ : 1 – расчетная с ребрами; 2 – расчетная без ребер; 3 – экспериментальная



При сопоставлении различных математических моделей процесса формирования пачек круглых лесоматериалов видно, что аналитические зависимости (15) и (18), (27) и (40) идентичны. Результаты сопоставления позволили ВКНИИВОЛТУ рекомендовать для практических расчетов гравитационных торцевывравнителей К-127, К-142, К-153 использовать аналитические зависимости (27) и (40).

Достоверность математической модели (40) подтверждается результатами производственных испытаний торцевывравнителей К-127 на Болтинской и Лимендской лесоперевалочных базах Котласской сплавной конторы (рис. 2).

Для улучшения процесса торцевания и уменьшения кострея круглых лесоматериалов в торцевывравнителе на внутренней поверхности поворотных щитов устанавливали горизонтальные и вертикальные ребра, что позволило увеличить усилие торцевания щита на 30 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов М.В.* Расчет усилия торцевания // Лесн. пром-сть. – 1969. – № 7. – С. 6–7.
2. *Варакса Н.Е., Виноградов Я.И.* Экспериментальное исследование торцевывравнивания поворотным надвиганием щитов // Технология и комплексная механизация лесозаготовительных работ: Межвуз. сб. науч. тр. / СибЛТИ, 1974. – Вып. 2. – С. 234 – 240 с.
3. *Воронков И.М.* Курс теоретической механики. – М.: Наука, 1965. – 596 с.
4. *Донской И.П., Виноградов Я.И.* Усилия выравнивания торцов пакетов бревен // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса: Межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – 1974. – Вып. 111. – С. 84–89.
5. *Игутов В.Е.* Исследование силовых и геометрических параметров торцевывравнивающих устройств на базе статической модели беспрокладочного штабеля из круглых лесоматериалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 1971. – 29 с.
6. *Николенко Д.И.* К вопросу о торцевании круглого леса в процессе перегрузки // Сб. науч. тр. / Одес. ин-т инж. морск. флота. – 1989. – Вып. 12. – С. 97–100.
7. *Свиридюк К.А.* Аналитические исследования процесса выравнивания торцов бревен в установках гравитационного типа // Сб. науч. тр. / ЦНИИМЭ. – 1975. – Вып. 143. – С. 122–129.
8. *Филашов В.М.* К расчету накопителей и торцевывравнителей бревен // Лесн. журн. – 1972. – № 3. – С. 19–20. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Марийский государственный  
технический университет

ВКНИИЛП

Поступила 24.01.03

*P.F. Voitko, A.S. Fadeev*

#### **Mathematical Models of Forest Cargo Formation by Gravitational Trimmers**

Three mathematical models have been set up for forming roundwood bunches before loading them to machines.

---

УДК 630\*323

**Ю.А. Ширнин, Е.М. Онучин**

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 160 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



Онучин Евгений Михайлович родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Марийский государственный технический университет, аспирант МарГТУ. Имеет 5 печатных работ по исследованиям машин и механизмов для лесосечных и лесовосстановительных работ.



**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ЛЕСНОЙ МАШИНЫ**

Предложена имитационная модель, позволяющая методом статистических испытаний получить уравнения регрессии для оценки влияния природно-производственных условий на доступность древостоев для лесных машин.

Ключевые слова: имитационное моделирование, траектория движения, лесная машина, лента леса, регрессионные модели, проникаемость древостоя.

5

Движение лесных машин в древостое при выполнении лесосечных и лесохозяйственных работ в настоящее время изучено мало. Вместе с тем исследование этого процесса позволяет решить ряд актуальных проблем экологичности лесосечных работ, эффективности лесовосстановительных и лесозащитных мероприятий.

Выбор маршрута движения лесной машины в древостое относится к классу задач перемещения по местности со случайным распределением препятствий. Отдельные вопросы данной проблемы рассмотрены в работах [1, 3–5 и др.].

Эмпирические зависимости максимальной ширины свободного прохода от густоты древостоя были получены ранее [1], но использовавшаяся модель не учитывала ряда факторов, важных для проектирования технологических процессов лесосечных и лесовосстановительных работ. В частности, модель предполагала равномерное распределение деревьев по обрабатываемой площади, максимальную ширину прохода определяли для «беско-

нечной» траектории, не оценивая отклонение реальной траектории от осевой линии (предпочтительной траектории). В работах [4] и [5] дана оценка доступности деревьев для машины при рубках ухода и подроста хвойных пород. Она выражается уравнениями регрессии, полученными при имитационном моделировании древостоев и технологических процессов рубок ухода. В этих моделях не рассматривают траекторию движения лесной машины, что существенно влияет на достоверность результатов и не позволяет сравнить возможные стратегии движения машины в древостое. В работе [3] предложены два способа определения максимально допустимых размеров машины без повреждения стволов и прикорневой части. Первый позволяет получить аналитические выражения для среднего расстояния между деревьями и принять их при определении максимальных габаритов машины. Второй предусматривает картирование лесоучастка и прокладку криволинейной трассы в процессе камеральной обработки. Результаты вычислений по первому способу ориентировочны, второй способ весьма трудоемок.

Цель настоящего исследования – разработать методику и алгоритм имитационной модели движения колесной лесной машины в древостое для получения уравнений регрессии, связывающих параметры машины (колея, база, максимальный угол поворота управляемых колес, скорость движения), древостоя (распределение деревьев по площади, густота, средний диаметр деревьев, его дисперсия) и технологии (теоретическая длина маршрута в древостое, ограничения по отклонению траектории от осевой линии маршрута) через доступность древостоя для машины.

Имитационная модель включает:

1) процедуру описания распределения деревьев по площади, которая разработана и изучена многими исследователями, в частности [2], она

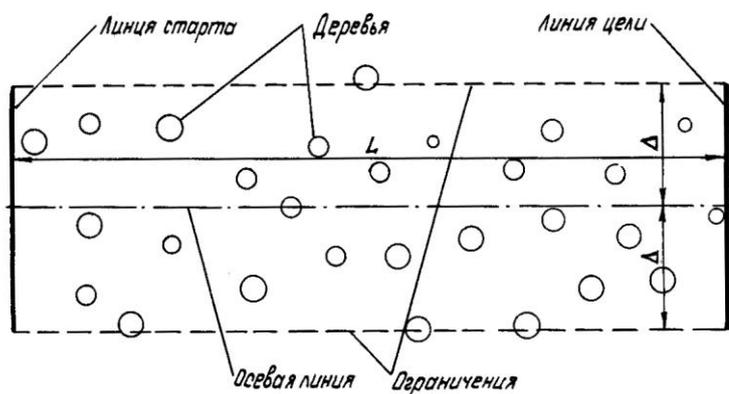


Рис. 1. Модель ленты леса, в котором осуществляется движение машины

дополнена линией старта, линией цели и ограничениями траектории от осевой линии обрабатываемой ленты леса (рис. 1);

2) модель траектории движения колесной лесной машины, для математического описания которой сделан ряд допущений.

Траектория движения представляет собой ломаную кривую, отдельные участки ее являются дугами окружности различного радиуса (что соответствует постоянному углу поворота управляемых колес машины), но одинаковой длины. Изменение угла поворота управляемых колес происходит мгновенно и только в вершинах ломаной линии, где он может быть либо увеличен, либо уменьшен на фиксированную величину, либо оставаться неизменным.

Длину машины представим в виде отрезка ее осевой линии, равного базе машины. За ширину примем увеличенную на половину колеи машины непроходимую зону вокруг деревьев. Из этого следует, что траектория не должна проходить по некоторой круговой площади вокруг каждого дерева, определяемой его диаметром у земли и непроходимой зоной, учитывающей колею и исключающей повреждение ствола дерева.

Анализ допущений позволяет сделать вывод, что решающее влияние на точность и ресурсоемкость моделирования траектории оказывают длина участка ломаной линии и угол поворота управляемых колес в ее вершине. Для определения этих параметров был выполнен натурный эксперимент, в ходе которого трактор МТЗ-80, оборудованный устройством для обозначения траектории движения, установленным на середине передней оси, совершал различные маневры. След трактора картировали и обрабатывали в среде Mechanical Desktop 5. Затем аппроксимировали траекторию на основе сделанных предположений и методом последовательного приближения подбирали искомые параметры так, чтобы ошибка аппроксимации не превышала 5 % от ширины колеи трактора.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы, имитирующей движение лесной машины в древостое (ПР – пространственное расположение)

Для реализации имитационной модели движения лесной машины на ЭВМ был составлен алгоритм, представленный на рис. 2, и написана программа на языке программирования Delphi 5.

Для моделирования траектории использованы следующие параметры (рис. 3, а):  $b_0$  – положение середины передней оси на линии старта;  $\varphi_0$  – начальный угол между продольной осью машины и линией старта;  $\theta_0$  – начальный угол поворота управляемых колес.

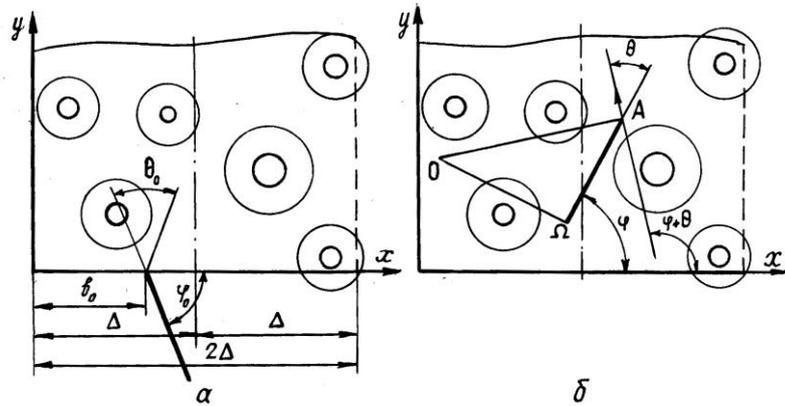


Рис. 3. Положение машины в древостое: а – в начальный момент движения; б – в процессе движения

Приняты следующие допущения:

угол  $\theta$ , характеризующий поворот в плане управляемых колес, положителен при повороте против часовой стрелки от продольной оси машины, в противном случае он отрицателен;

$b_0$  – случайная величина, распределенная по нормальному закону и характеризующаяся математическим ожиданием  $M(b_0) = \Delta$  и дисперсией  $D(b_0) = \delta\Delta$ . Углы  $\varphi_0$  и  $\theta_0$  в первом приближении также являются случайными величинами с равномерным распределением, изменяющимися в пределах:  $0^\circ < \varphi_0 < 180^\circ$  и  $-\theta_{\max} < \theta_0 < \theta_{\max}$ , где  $\theta_{\max}$  – параметр машины.

Положение машины в древостое определяют точками  $A$  и  $\Omega$ , соответствующими серединам передней и задней осей (рис. 3, б).

Для построения дуги ломаной линии решим систему уравнений

$$\begin{cases} y - y_{\Omega} = k^*(x - x_{\Omega}); \\ y - y_A = k_{\theta}^*(x - x_A), \end{cases}$$

где  $x, y$  – текущие абсциссы и ординаты линий  $OA$  и  $O\Omega$ ;

$x_A, y_A$  – координаты точки  $A$ ;

$x_{\Omega}, y_{\Omega}$  – координаты точки  $\Omega$ ;

$$k^* = -\frac{1}{k} \quad (k = \operatorname{tg}\varphi);$$

$$k_{\theta}^* = -\frac{1}{k_{\theta}} \quad (k_{\theta} = \operatorname{tg}(\varphi + \theta)).$$

Находим координаты точки  $O$  – центра поворота машины:

$$x_O = \frac{y_A - y_{\Omega} + k^*x_{\Omega} - k_{\theta}^*x_{\Omega}}{k^* - k_{\theta}^*};$$

$$y_O = k^*(x_O - x_{\Omega}) + y_{\Omega}.$$

Центральный угол дуги траектории определяем по выражению

$$\varphi = \frac{\Lambda}{OA},$$

где  $\Lambda$  – длина участка ломаной линии.

Частные случаи решения возможны при:  $\varphi = 90^\circ$  – продольная ось машины параллельна осевой линии лесоучастка;  $\theta = 0^\circ$  – машина совершает прямолинейное движение.

Новое положение машины определяют пересчетом координат точек  $A$  и  $\Omega$  по формулам поворота относительно точки  $O$ . В результате получаем предполагаемый участок траектории. Движение по нему признают возможным, если траектория не выходит за ограничения и не пересекает непроходимую зону, при этом точки отрезка, представляющего машину, не накладываются на деревья.

Если движение по ленте возможно, то моделируют следующий участок до тех пор, пока точка  $A$  не достигнет линии цели. В этом случае данную ленту леса признают проникаемой, что фиксирует соответствующий счетчик. Когда движение по участку невозможно, в том же положении моделируют новый участок, изменяя угол  $\theta$  на некоторую величину  $\Delta\theta$ . Если и в этом случае движение по траектории затруднено, то возвращаются к предыдущему положению машины. Если не удастся построить участок траектории, по которому возможно движение из начального положения машины (рис. 3,  $a$ ), то такая лента леса считается непроникаемой, что фиксирует счетчик.

Испытав достаточно большое число реализаций ленты леса с данными параметрами, мы можем судить о возможности передвижения лесной машины, также характеризуемой некоторыми параметрами (метод статистических испытаний Монте-Карло).

По результатам многофакторного вычислительного эксперимента на имитационной модели строят регрессионные модели.

Полученные результаты исследований позволяют:

сравнивать стратегии движения лесных машин в древостое и выбирать рациональные по критерию проникаемости;

рассчитывать проникаемость древостоев при проектировании модульных лесных машин;

определять параметры технологических процессов (длина и ширина коридора), предусматривающих движение машин в древостое;

рассчитывать число вырубаемых (мешающих) деревьев при прокладке волоков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность – машина. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

2. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Лесосечные машины для рубок ухода: компьютерная система принятия решений. – Петрозаводск: Изд-во Петрозавод. ун-та, 1998. – 235 с.

3. Исследование лесопромышленных процессов. Ч. I. Изучение предметов обработки: Методич. указания к проведению исследовательской практики для студентов специальности 2601 / Сост. П.М. Мазуркин, С.М. Гордеев, М.Ю. Смирнов; Под ред. П.М.Мазуркина. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1994. – 64 с.

4. *Савельев А.Г.* Разработка технологии рубок ухода на основе исследования доступности деревьев при машинном способе заготовки (на примере лесов I группы Прибалтики): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск: БелТИ, 1989. – 24 с.

5. *Ширнин Ю.А., Лазарев А.В.* Определение доступности при машинной заготовке подроста из-под полога леса // Тр. науч. конф. по итогам науч.-исслед. работ МарГТУ (Йошкар-Ола. 20–22 апреля 1998 г.). – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – С. 102–105. – Деп. в ВИНТИ 30.09.98 № 2890-В 98.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 24.01.03

*Yu.A. Shirnin, E.M. Onuchin*

### **Simulation of Movement of Multiple-function Logging Machine**

Simulation model has been suggested allowing to obtain regression equations by Monte-Carlo method for assessment of the influence of nature-and-production conditions on stands accessibility for forest machines.





## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.931

*Г.Ф. Прокофьев, И.С. Лобанова*

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Лобанова Ирина Станиславовна родилась в 1970 г., окончила в 1993 г. Севмашвтуз, старший преподаватель кафедры математики Севмашвтуза, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования АГТУ. Имеет 6 печатных работ в области механической обработки древесины и математического моделирования физических процессов при резании.



### ВЛИЯНИЕ ВАЛЬЦЕВАНИЯ ПОЛОСОВЫХ ПИЛ НА ЖЕСТКОСТЬ ИХ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Установлено влияние вальцевания на крутильную жесткость, предложен способ оценки напряжений вальцевания по разности значений крутильной жесткости вальцованной и невальцованной пилы.

Ключевые слова: вальцевание, пила, крутильная жесткость, напряжение, симметричное вальцевание, дополнительная жесткость.

Одним из способов повышения жесткости полосовых пил (рамных и ленточных) является вальцевание их полотна. Оно заключается в создании остаточных напряжений, благоприятно распределенных по ширине поперечного сечения пилы, методом ее прокатки между роликами. Остаточные растягивающие напряжения возникают у кромок пилы, а остаточные сжимающие напряжения – в средней ее части. За счет вальцевания повышается собственная жесткость пилы на кручение.

Жесткость сечения вальцованной пилы на кручение

$$\tilde{N}_d = \tilde{N}_e + \tilde{N}_{e,\dot{a}} = \frac{\delta^3 b}{3} G + \delta \int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) z^2 dz, \quad (1)$$

где

$C_k$  – жесткость на кручение невальцованной пилы;

$C_{к.в}$  – дополнительная жесткость на кручение за счет вальцевания пилы;

$b, \delta$  – ширина и толщина пилы соответственно, мм;

$G = 8 \cdot 10^4$  МПа – модуль сдвига материала пилы;

$\sigma(z)$  – распределение остаточных напряжений вальцевания по ширине поперечного сечения пилы, МПа.

Рассмотрим вопрос оптимизации распределения остаточных напряжений  $\sigma(z)$  в целях получения наибольшей жесткости пилы при кручении. Во-первых, распределения остаточных напряжений в сечении  $\sigma(z)$  должны быть самоуравновешенными, так как они действуют в пиле при отсутствии внешней нагрузки, т. е. они должны удовлетворять условиям равенства нулю силы  $N$  и момента  $M$ , действующему в сечении пилы:

$$N = \delta \int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) dz = 0 ; \quad (2)$$

$$M_y = \delta \int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) z dz = 0 . \quad (3)$$

Во-вторых, из условия обеспечения прочности пилы при дальнейшей эксплуатации должны быть ограничены максимальные значения как растягивающих, так и сжимающих остаточных напряжений:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_a^{\delta} ; \quad (4)$$

$$\sigma_{\min} \geq \sigma_a^c . \quad (5)$$

Допускаемые остаточные напряжения растяжения  $\sigma_a^{\delta}$  и сжатия  $\sigma_a^c$  определяются с учетом того, что при эксплуатации они будут складываться с напряжениями от изгиба растяжения и т. д., т. е. исходя из условия общей прочности пилы. При выполнении условий (2) – (5) распределение напряжений должно обеспечить максимум функционалу

$$\int_{-b/2}^{b/2} \sigma(z) z^2 dz \rightarrow \max . \quad (6)$$

В общем случае строгое решение задачи оптимизации, описываемое условиями (2) – (6), представляет сложную задачу. Проще получить ее решение в частном случае.

Рассмотрим частный случай вальцевания – симметричное вальцевание. Так как при симметричном вальцевании эпюра остаточных напряжений  $\sigma(z)$  симметрична относительно оси пилы, то условие (3) выполняется автоматически. В качестве оптимального распределения остаточных напряжений\* предложено распределение вида

$$\sigma(z) = a_0 + a_2 z^2 .$$

\* Брюквин А.В. Динамическая модель колебаний дереворежущих ленточных пил // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1994. – 20 с.

С учетом (2) получаем

$$\sigma(z) = a_2 \left( z^2 - \frac{b^2}{12} \right).$$

Коэффициент  $a_2$  определяется из условия, что максимальное напряжение растяжения на кромке пилы равно  $\sigma_a^\delta$ :

$$\sigma(h/2) = \sigma_a^\delta.$$

Используя это, будем иметь

$$\sigma(z) = \frac{\sigma_a^\delta}{2} \left( 12 \frac{z^2}{b^2} - 1 \right). \quad (7)$$

Распределение остаточных напряжений, определяемых выражением (7), приведено на рис. 1.

Очевидно, что представленное на рис. 1 распределение не является оптимальным хотя бы потому, что в нем нельзя варьировать допускаемые остаточные напряжения сжатия  $\sigma_a^c$ . Действительно, в этом случае всегда  $\sigma_{\min} = -0,5\sigma_a^\delta$ .

Решение задачи об оптимальном распределении напряжений вальцевания (в случае симметричного вальцевания) можно искать в виде бесконечного полинома

$$\sigma(z) = a_0 + a_2 z^2 + \dots + a_{2n} z^{2n} + \dots \quad \text{ïðå} \quad n = 1 \dots \infty.$$

Несложно показать, что оптимальное, с точки зрения крутильной жесткости, распределение напряжений при симметричном вальцевании стремится к виду

$$\sigma(z) = \begin{cases} \sigma_a^\delta & \text{ïðå} \quad -\frac{b}{2} \leq z \leq -\frac{c}{2} \\ -\sigma_a^c & \text{ïðå} \quad -\frac{b}{2} < z < \frac{b}{2} \\ \sigma_a^\delta & \text{ïðå} \quad \frac{c}{2} \leq z \leq \frac{b}{2} \end{cases}, \quad (8)$$

где  $c = \frac{\sigma_a^\delta}{\sigma_a^\delta + \sigma_a^c} b$  (определяется из условия (2)).

Эпюра оптимального распределения представлена на рис. 2.

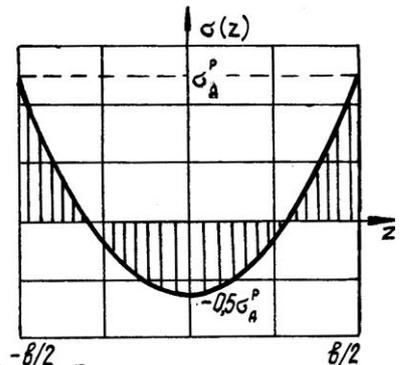
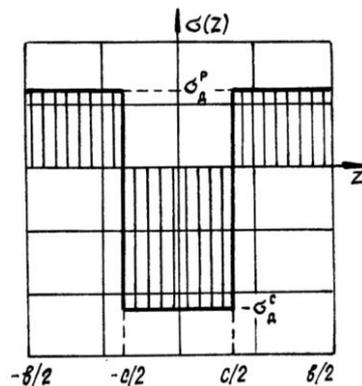


Рис. 1. Эпюра распределения остаточных напряжений по выражению (7)

Рис. 2. Эпюра оптимального распределения остаточных напряжений при симметричном вальцевании



Дополнительная жесткость на кручение, возникающая при симметричном вальцевании с распределением остаточных напряжений по выражению (7):

$$\tilde{N}_{\text{é.á}} = \frac{\sigma_{\text{á}}^{\delta} b^3}{30} \delta . \quad (9)$$

Дополнительная жесткость на кручение, возникающая при симметричном вальцевании с распределением остаточных напряжений по выражению (8):

$$\tilde{N}_{\text{é.á}} = \frac{b^3}{12} \left( \frac{2 \int_{-c/2}^{c/2} \sigma_{\text{á}}^{\delta} \sigma_{\text{á}}^{\text{ñ}} + \int_{-c/2}^{c/2} \sigma_{\text{á}}^{\text{ñ}} \sigma_{\text{á}}^{\delta}}{\int_{-c/2}^{c/2} \sigma_{\text{á}}^{\delta} + \sigma_{\text{á}}^{\text{ñ}}} \right) \delta . \quad (10)$$

Если принять  $\sigma_{\text{á}}^{\delta} = \sigma_{\text{á}}^{\text{ñ}}$ , то дополнительная жесткость на кручение при оптимальном распределении (8) будет почти в 2 раза больше, чем при распределении, задаваемом выражением (7).

Формулы (9) и (10) показывают, что дополнительная жесткость на кручение при симметричном вальцевании зависит от ширины полотна пилы  $b$  и уровня напряжений вальцевания. Так как дополнительная жесткость  $C_{\text{к.в}}$  на кручение прямо пропорциональна толщине пилы  $\delta$ , а жесткость невальцованной пилы на кручение  $C_{\text{к}}$  пропорциональна  $\delta^3$ , то относительное увеличение жесткости на кручение будет уменьшаться с увеличением  $\delta$ .

В таблице представлена зависимость крутильной жесткости от уровня напряжений вальцевания для двух различных распределений остаточных напряжений по ширине пилы, задаваемых выражениями (7) и (8).

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. Степень вальцевания может быть оценена измерением и последующим сравнением собственной жесткости на кручение невальцованной и вальцованной пилы. Этот метод требует экспериментальной проверки на стенде и сравнения с применяемым в настоящее время методом оценки степени вальцевания по величине световой щели.



2. Наибольший эффект в повышении собственной жесткости пилы выявлен при использовании распределения (8). Для применения на практике необходимо разработать технологию получения распределения (8).

3. Необходимо определить предельные напряжения вальцевания с позиции обеспечения прочности и устойчивости пилы.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.03.02

*G.F. Prokofjev, I.S. Lobanova*

### **Influence of Strip Saws Milling on their Cross-section Hardness**

The influence of milling on torsional hardness has been established, estimation method for milling strength has been suggested based on the difference of torsional hardness value of milled and non-milled saw.

---

УДК 658.382.3

*С.В. Мельгунов, А.Г. Лапкаев***ПОЖАРООПАСНОСТЬ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Методом статистического анализа по данным Госпожнадзора изучена пожарная опасность цехов Красноярского ДОКа и приведен анализ причин возникновения пожаров за период 1989–1998 гг.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пожар, причины пожаров.

Ежегодно в России происходит до 400 тыс. пожаров с различными материальными ущербами. Для Красноярского края этот показатель составляет более 8 тыс. пожаров, которые принесли весьма значительные материальные потери (Лесосибирск, Игарка, Красноярск) [1].

За период с 1989 г. по 1998 г. на деревообрабатывающих предприятиях края зафиксировано 2184 пожара с общим материальным ущербом 9 958 869 тыс. При этом уничтожено 125 единиц техники, 768 строений, погибло 98 чел., в том числе 9 детей (см. таблицу).

Для установления причин возникновения пожаров и степени пожарной безопасности цехов были проведены исследования по специально разработанной методике, включающей 24 показателя, объединенные в 4 группы: организационные, технико-эксплуатационные, строительно-планировочные и режимные. В ряде случаев группы имели дополнительные

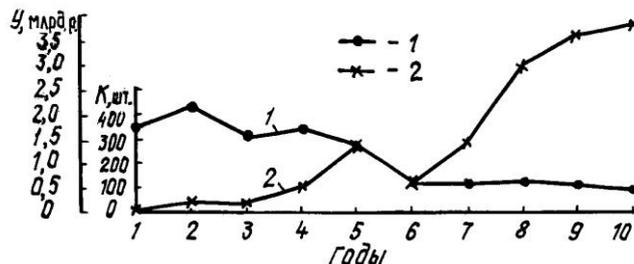
Годы	Количество пожаров	Ущерб, тыс. р.	Погибло людей / в том числе детей	Уничтожено единиц		Пожары по вине лиц в нетрезвом состоянии		
				техники	строений	Количество	Ущерб, тыс.р.	Погибло людей
1989	347	1 278	-	28	97	-	-	-
1990	419	1 886	21/3	21	162	27	85	16
1991	308	1 238	31/2	16	193	38	120	25
1992	335	17 552	19/4	17	88	19	3 158	10
1993	275	1 337 167	24	28	97	-	-	-
1994	108	613 970	1	11	28	3	22 884	1
1995	100	1 440 482	-	-	23	3	17 953	-
1996	109	2 968 522	1	-	23	-	-	-
1997	98	3 576 736	1	4	33	3	500	1
1998	85	3 804 834	-	-	24	2	42 000	-
Итого	2 184	9 958 869	98/9	125	768	95	86 700	53

показатели. Так, комплексная оценка технологических процессов обработки древесины включала 7 показателей, цехов – 23, используемых в производственных процессах материалов и веществ – 14.

По данным таблицы максимальное количество пожаров в Красноярском крае приходится на 1990 г. Это обусловлено тем, что в ходе политических и экономических преобразований начался спад производства, снизилась дисциплина и контроль за противопожарным состоянием объектов. Наибольшее количество пожаров произошло от шалости детей с огнем и неосторожного обращения с электроприборами. Участились пожары от умышленных поджогов.

Более подробный анализ пожарной опасности объектов был проведен по Красноярскому ДОКу, крупнейшему предприятию края. В его состав входят 8 основных цехов. Их пожарную опасность оценивали по указанной выше методике. Всего для цехов Красноярского ДОКа (см. рисунок) было учтено 94 показателя. Период исследований – с 1989 г. по 1999 г.

Степень опасности определяли коэффициентом пожарной безопасности (отношение суммы показателей (по нормативным документам) к сумме всех показателей пожарной безопасности, регламентируемых нормативными документами [2, 3]).



Число пожаров (1) и нанесенный ими ущерб (2) на предприятиях Минлеспрома (цифры с 1 по 10 соответствуют году с 1989 г. по 1998 г.)

Самый низкий коэффициент пожарной безопасности имеют лесопильный цех № 1, склад готовой продукции, цех по производству древесностружечных плит (ДСтП) и ремонтно-механический цех, так как у них из 24 показателей не соответствуют нормативным значениям 15, 14, 12 и 14.

При анализе показателей по группам принадлежности выяснилось, что ряд цехов имеют несоответствие почти по всем группам. Особенно выделяются в этом отношении склад готовой продукции, ремонтно-механический цех и цех ДСтП. В остальных подразделениях эти показатели имеют тенденцию к стабилизации и снижению.

Анализ причин возникновения пожаров в цехах предприятия позволил выделить 4 основные группы: при эксплуатации оборудования, внутризаводского транспорта, электрооборудования, производстве работ с огнем. Так, от нарушения технологического режима в 1998 г. произошло 22 пожара (46,8 %), от неосторожного обращения с огнем – 14 (29,8 %), по прочим причинам – 11 (23,4 %).

В большинстве случаев возникновение пожаров происходит из-за физического и морального износа оборудования, формальной аттестации рабочих мест и работников всех уровней, несвоевременного проведения капитальных и планово-предупредительных ремонтов, неполного исполнения должностных обязанностей ИТР всех уровней, а также из-за назначения на должность ответственных за пожарную безопасность лиц, не имеющих специального образования, необходимых знаний и опыта работы.

Наибольшее количество пожаров произошло в цехе ДСтП: в 1989 г. – 11 из 21 по всему комбинату, 1990 г. – 9 из 20, 1991 г. – 9 из 15. При анализе пожаров по месяцам установлено, что их количество возрастает в марте, мае, августе и октябре, рост отмечен во второй декаде каждого месяца.

Из анализа мероприятий, проводимых по пожарной профилактике комбината, следует, что предписания Госпожнадзора выполняются не в должной мере. О чем убедительно говорят результаты проверки за 1990 г. и 1993 г., которые содержат мероприятия, предлагаемые к исполнению еще предписаниями ГПН за 1984 г. и 1986 г. Следовательно, на протяжении многих лет имелась реальная возможность возникновения пожаров по причине неликвидации недостатков.

План мероприятий по улучшению противопожарного состояния комбината на 1993 г. содержал всего 15 позиций, что составляет шестую часть от мероприятий, включенных в предписание ГПН в 1990 г. Из этих 15 мероприятий на сумму 5,4 млн р. выполнено только 7 с затратами 2,5 млн р., т.е. всего 46 %.

Таким образом возникновение пожаров в деревообрабатывающей отрасли Красноярского края происходит из-за высокой пожароопасности объектов, которая обусловлена наличием пожароопасных веществ и материалов; безответственного отношения руководства объектов к предписаниям Государственного пожарного надзора, низкой исполнительской дисциплины нижнего и среднего звена инженерно-технических работников; несоблюдения элементарных норм и правил пожарной безопасности рабочими и служащими; небрежного отношения к этим вопросам пожарной безопасности при организации технологического процесса; несоответствия зданий и помещений требованиям нормативных документов; отсутствия средств обнаружения и тушения пожаров; нарушения пропускного режима и неудовлетворительного состояния ограждения территорий; отсутствия специальных знаний и навыков у ИТР, формального проведения инструктажа и обучения рабочих; слабого контроля за противопожарным состоянием объекта или полного его отсутствия; захламливания территории и рабочих мест, нарушения правил складирования обрабатываемого материала.

Проведенные исследования показали, что внедрение мероприятий по обеспечению пожарной безопасности находится на низком уровне из-за незначительного выделения средств. Финансирование профилактических работ за последнее десятилетие существенно сократилось в связи с хозяйственно-организационной перестройкой. В результате этого вероятность возникновения пожаров на объектах увеличилась.

Таким образом, руководителям следует безусловно выполнять Федеральный закон «Об основах охраны труда в РФ» [1], где сказано, что основным направлением государственной политики является признание и обеспечение приоритетности жизни и здоровья работающих по отношению к результатам производственной деятельности предприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об основах охраны труда в Российской Федерации. Федеральный закон № 181 от 7.07.99: Справ. пособие. – Красноярск: РИО СибГТУ, 1999. – 46 с.
2. Правила пожарной безопасности в лесной и деревообрабатывающей промышленности /ЦНИИМОД. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 96 с.
3. Правила пожарной безопасности в РФ. – М.: Инфра-М, 1994. –144 с.

Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 20.12.01

*S.V. Melgunov, A.G. Lapkaev*

#### **Fire Risk of Wood-working Enterprises of Krasnoyarsk Kraj**

Fire risk of shops at Krasnoyarsk Sawmill has been investigated based on statistic analysis method, analysis of fire origin over the period of 1989-1998.

---

УДК 674.048

**С.М. Сулытсон, Е.В. Харук, Г.С. Ковригин**

Сулытсон Светлана Михайловна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант кафедры технологии композиционных материалов. Имеет 5 печатных трудов в области исследования экологически чистых ресурсосберегающих технологий.



### **СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinus silvestris* L.) В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Установлена корреляционная зависимость между показателями макростроения сосны обыкновенной (мяндовой и рудовой) и ее плотностью в связи с условиями роста.

Ключевые слова: формовое разнообразие, сосна мяндовая, сосна рудовая, макростроение, плотность древесины, ряды трахеид, биостойкость, качество древесины.

По площади и запасам древесины сосна обыкновенная в Восточной Сибири занимает второе место после лиственницы. Эти древостои выполняют большие экологические и климаторегулирующие функции.

Древесина сосны обладает высокой биостойкостью и качеством, хорошо поддается обработке режущими инструментами, в связи с чем она находит широкое применение в строительстве, промышленности и других областях.

Морфологические признаки и качественная характеристика древесины существенно зависят от эколого-географических и почвенно-климатических условий произрастания.

О.И. Полубояринов [9] отмечает, что по кроне можно сравнивать различные по структурным особенностям древостои, т. е. качество древесины контролируется кроной. Влияние условий произрастания на формирование годичного слоя и толщину клеточных стенок древесины сосны обыкновенной установлено И.С. Мелеховым [6].

В работе [8] приведены данные о влиянии на качество древесины сосны обыкновенной эколого-географических условий произрастания: выросшие в северных, центральных и южных районах европейской части России деревья существенно отличаются по строению, физическим и прочностным свойствам [8].

Биостойкость, строение и свойства древесины сосны обыкновенной, произрастающей в Восточной Сибири, в связи с эколого-географическими и почвенно-климатическими условиями изучены недостаточно. Имеются лишь отдельные данные о влиянии условий произрастания на структуру годичного слоя [1, 2, 7].

Более глубокие исследования влияния климатических экотипов и популяций на рост и формирование лесных культур в Восточной Сибири проведены селекционерами [4, 5, 11]. В этом плане особый интерес представляют работы О.Ф. Буторовой [3], которая на большом экспериментальном материале выявила четкую географическую и популяционную изменчивость у хвойных пород Восточной Сибири в семенном потомстве, сеянцах и лесных культурах в возрасте до 15 лет, которая устойчиво проявляется с двухлетнего возраста. Для сосны обыкновенной уровень межпопуляционной изменчивости признаков составляет 16,6 ... 35,2 %.

Анализ приведенных данных дает основание сделать вывод о существовании эколого-географической и межпопуляционной изменчивости биостойкости, строения и свойств древесины сосны обыкновенной на различных возрастных стадиях, включая спелые и перестойные древостои.

М.Е. Ткаченко [12], выделил две экологические формы сосны обыкновенной в зависимости от условий ее роста: мелкослойная с красной смолистой древесиной, признаки которой появляются даже в молодом дереве, – «кондовая» («рудовая»), крупнослойная – «мяндовая». Позднее эти формы сосны, различающиеся по качеству древесины, Л.Ф. Правдин [10] выделил в форму *f. (var.) montana* Sang.

По данным Л.М. Перелыгина [8], рудовая мелкослойная сосна, имеющая смолистую древесину с высокой плотностью и узкой заболонью, растет на высоких песчаных почвах; мяндовая сосна с широкими годичными слоями и заболонью и слабо выраженным ядром – на низких песчаных или глинистых почвах.

Более подробные сведения о свойствах древесины мяндовой и рудовой сосны отсутствуют.

Одной из основных проблем лесной науки является разработка экологически чистых ресурсосберегающих технологий, позволяющих увеличить срок службы древесины за счет повышения биостойкости по отношению к дереворазрушающим грибам и насекомым. Основываясь на литературных и опытных данных приходим к выводу, что таким требованиям может удовлетворять древесина сосны рудовой.

Влияние кроны на рост дерева, образование годичных колец и переход от ранней к поздней древесине отмечен в других работах [14, 15]. Эти показатели были взяты за основу при выборе модельных деревьев. При этом учитывались признаки, характерные для мяндовой и рудовой древесины: форма и размеры кроны, интенсивность окраски ядровой древесины, засмоленность, ширина годичного слоя, содержание поздней древесины в нем, плотность. Четыре последних показателя служат критериями определения формового разнообразия. Ширину годичного слоя контролировали на основании подсчета трахеид в нем.

Согласно классификации климатических экотипов, разработанных А.И. Ирошниковым [4], для сосны обыкновенной, произрастающей на территории Восточной Сибири, основными климатипами являются саянский

## Макростроение древесины сосны обыкновенной

Показатели	Значения показателей для сосны	
	мяндовой	рудовой
Ширина годичного слоя, мм	1,99 ± 0,36	1,49 ± 0,90
Процент поздней древесины в годичном слое	19,5 ± 0,35	26,7 ± 0,67
Плотность (ядровая древесина), кг/м <sup>3</sup>	487,6 ± 3,61	525,9 ± 2,80
Число рядов трахеид	56 ± 4,9	31 ± 1,9
В том числе:		
ранних	35 ± 1,7	17 ± 0,9
поздних	21 ± 1,7	14 ± 1,4

и ангарский. Учитывая, что сосна ангарская характеризуется лучшими показателями биостойкости и качества древесины, нами исследована сосна обыкновенная 6–7 класса возраста из Мотыгинского лесхоза Нижнего Приангарья.

Так как древесина сосны имеет большое варьирование свойств по радиусу ствола, образцы изготавливали из призаболонной части на расстоянии 5 см от заболони, из этой же зоны брали образцы и для микологических испытаний, химического анализа и микростроения.

Результаты исследований приведены в таблице.

Из приведенных в таблице данных видно, что у сосны проявляется очень тесная связь между процентом поздней древесины в годичном слое и плотностью: для мяндовой коэффициент корреляции равен 0,74, для рудовой – 0,92. Связь между шириной годичного слоя и плотностью древесины как мяндовой, так и рудовой сосны слабая (коэффициент корреляции соответственно 0,21 и 0,18).

Выявлена тесная зависимость между шириной годичного слоя и числом рядов трахеид: сосна мяндовая – 0,88, рудовая – 0,75.

По числу рядов трахеид в годичном слое как мяндовая, так и рудовая сосна имеет четкое различие ( $6,30 = F_{\text{факт.}} > F_{\text{табл.}} = 4,96$ ).

Установлена значительная (0,64) и очень тесная корреляция (0,95) между процентом поздней древесины и числом поздних трахеид в годичном слое соответственно мяндовой и рудовой сосны.

Для мяндовой сосны характерно более высокое варьирование ширины годичного слоя и процента поздней древесины по сравнению с рудовой. Этот вывод согласуется с данными, полученными для сосны обыкновенной из Европейской части России [9], а также для быстрорастущих деревьев других пород, произрастающих на разных континентах [13].

Следовательно, по всем качественным показателям древесина сосны рудовой превосходит мяндовую.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова Г.Ф., Перевозникова В.Д., Стасова В.В. Влияние условий произрастания на структуру годичного слоя древесины и продуктивность сосны обыкновенной // Лесоведение. – 1999. – № 6.
2. Антонова Г.Ф., Стасова В.В. Аккумуляция биомассы в стенках трахеид годичного слоя древесины // Лесоведение. – 1990. – № 3.
3. Буторова О.Ф. Биоэкологические основы выращивания сеянцев и лесных культур в Восточной Сибири: Автореф. ... д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 1996. – 48 с.
4. Прошинков А.И. Географические культуры и плантации хвойных в Южной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 4–110.
5. Исаева Л.Н., Черепнин В.Л. Качество древесины географических культур сосны обыкновенной в Средней Сибири // Лесоведение. – 1988. – № 2.
6. Мелехов И.С. Значение структуры годичных слоев и ее значение в лесоводстве и дендроклиматологии // Лесн. журн. – 1979. – № 4. – С. 6–14. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Некрасова А.А. Свойства древесины хвойных пород в зависимости от условий произрастания // Лесн. хоз-во. – 1994. – № 2.
8. Перельгин Л.М. Древесиноведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1957. – 365 с.
9. Полубояринов О.И. Плотность древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 200 с.
10. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. – М.: Наука, 1964. – 189 с.
11. Савва Ю.В., Милютин Л.И., Ваганов Е.А. Изменчивость структуры годичных колец в географических культурах сосны обыкновенной в южной тайге // Лесоведение. – 2001. – № 2.
12. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. – М.: Лесн. пром-сть, 1953. – 563 с.
13. Хиллис В.Э. Экстрактивные вещества. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 505 с.
14. Larson P.R. – *Tappi*. – 1962. – 45, N 6. – P. 443–448.
15. Larson P.R. – *Yale Univ, Sch.For.* – 1969. – *Bulletin* N 74.

Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 15.04.02

*S.M. Sultson, E.V. Kharuk, G.S. Kovrigin*  
**Wood Structure of Scots Pine (*Pinus silvestris* L.)  
in Eastern Siberia**

Correlation dependence has been established between values of wood macrostructure of Scots pine and its density in connection with growth conditions.

---

УДК 674.048:517.95

**Ю.А. Варфоломеев, Л.А. Баданина**

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Баданина Лариса Александровна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский государственный университет, старший преподаватель кафедры высшей математики Архангельского государственного технического университета. Имеет 6 печатных работ в области математического моделирования процесса консервации древесины.



**РАСЧЕТ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ЗАЩИТНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ ПРИ ИЗБЫТОЧНОМ ДАВЛЕНИИ**

Разработан удобный для использования в инженерной практике метод вычисления коэффициента проницаемости древесины защитными препаратами. Получена зависимость глубины пропитки изделий защитными препаратами от продолжительности приложения избыточного давления.

Ключевые слова: пропитка, давление жидкости, коэффициент сжимаемости жидкости, коэффициенты пористости, пластичности, фильтрации древесины.

Для повышения долговечности древесины ее пропитывают огнебиозащитными препаратами. Наиболее рационально использовать пропитку в автоклавах под давлением. При выборе технологических режимов консервирования древесины необходимо определить глубину пропитки, уровень концентрации раствора в древесине и др. Обычно это производится на основании экспериментальных данных. Однако испытания в лабораторных и производственных условиях являются длительными и дорогостоящими.

Цель настоящего исследования – разработать математическую модель процесса пропитки древесины при избыточном давлении, позволяющую достоверно прогнозировать и оптимизировать технологические параметры защитной обработки крупноразмерных строительных конструкций и элементов.

Ранее [1] разработан метод расчета процесса фильтрации жидкости в древесине, являющейся пористым телом. В основу этого расчета положено уравнение:

$$k_{\phi} \frac{\partial^2 P(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial \rho(x, t) \mu(x, t)}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации древесины;

$P(x, t)$  – давление жидкости, в момент времени  $t$  на расстоянии  $x$  от поверхности пропитываемого изделия;

$\rho(x, t)$  – плотность жидкости;

$\mu(x, t)$  – коэффициент пористости древесины.

При постановке задачи исходили из следующих условий: давление жидкости на границе постоянное, равно  $P_{\text{вн}}$ ; оставшийся внутри древесины воздух свободно выходит с противоположной стороны образца, при этом давления жидкости и воздуха на границе  $\xi(t)$  равны атмосферному давлению  $P_0$ ; в начальный момент времени глубина пропитки равна нулю,  $\xi(0) = 0$ ; жидкость несжимаема, ее плотность постоянна,  $\rho(x, t) = \rho_0$ ; пористость древесины при увеличении внутреннего давления изменяется по линейному закону:

$$\mu(x, t) = \mu_0 + \beta_{\text{пл}}(P(x, t) - P_0). \quad (2)$$

Здесь  $\mu_0$  – коэффициент пористости при атмосферном давлении;

$\beta_{\text{пл}}$  – коэффициент пластичности, имеющий малые значения,

$$\text{для еловой древесины } \beta_{\text{пл}} = 1,51 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{Па}}.$$

В этих обозначениях задача фильтрации жидкости в древесине сформулирована в работе [1].

Решить уравнение

$$\frac{k_{\phi}}{\rho_0 \beta_{\text{пл}}} \frac{\partial^2 P(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial P(x, t)}{\partial t} \quad (3)$$

при следующих условиях:

$$P(0, t) = P_{\text{вк}}, \quad t > 0; \quad (4)$$

$$P(\xi(t), t) = P_0, \quad t > 0, \quad 0 < \xi(t) \leq a; \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial P(x, t)}{\partial x} \right|_{x=\xi(t)} = -\frac{\mu_0 \rho_0}{k_{\phi}} \frac{d\xi}{dt}; \quad (6)$$

$$\xi(0) = 0. \quad (7)$$

Здесь  $\rho_0$  – плотность жидкости.

Решения задачи (3)–(7) имеют следующий вид:

$$\xi(t) = b\sqrt{t}; \quad (8)$$

$$P(x, t) = P_{\text{вк}} - \frac{\mu_0 b}{2} \sqrt{\frac{\pi \rho_0}{k_{\phi} \beta_{\text{пл}}}} \exp\left(\frac{b^2 \rho_0 \beta_{\text{пл}}}{4k_{\phi}}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2} \sqrt{\frac{\rho_0 \beta_{\text{пл}}}{k_{\phi} t}}\right), \quad (9)$$

где  $b$  – постоянное число, которое находится из уравнения

$$b \exp\left(\frac{b^2 \rho_0 \beta_{\text{ис}}}{4k_\delta}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{b}{2} \sqrt{\frac{\rho_0 \beta_{\text{ис}}}{k_\delta}}\right) = \frac{2(P_{\text{ат}} - P_0)}{\mu_0} \sqrt{\frac{k_\delta \beta_{\text{ис}}}{\pi \rho_0}}, \quad (10)$$

содержащего «функцию ошибок»

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

Теоретические исследования влагопроницаемости древесины приведены во многих работах. Похожая задача (3–7) была поставлена П.С. Серговым [5]. Автором указано, что задача не имеет аналитического решения, численное решение в работе [5] не приведено. Кроме того, в его постановке задачи отсутствует условие (6), без которого решение получается не единственным.

Н.А. Оснач [4] определил зависимость  $\xi(t) \sim \sqrt{t}$ , похожую на соотношение (8). Недостатком этой работы является то, что в ней нечетко сформулирована задача. Используя закон Дарси, автор вынужден был «для совпадения формулы с результатами эксперимента» [4] перейти от уравнения фильтрации к эмпирическому уравнению  $\frac{\Delta P}{\Delta l} = \frac{a}{x}$ .

Наиболее корректной, по нашему мнению, является работа Р. Коллинза [3], в которой решено следующее уравнение фильтрации:

$$\frac{k_\delta}{\rho_0 \beta_{\text{сж}}} \frac{\partial^2 P(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial P(x, t)}{\partial t}, \quad (11)$$

где  $\beta_{\text{сж}}$  – коэффициент сжимаемости жидкости.

Заметим, что уравнения (11) и (3) очень похожи. Однако Р. Коллинз, в отличие от нас, исходил из условий, что жидкость – слабосжимаема, пористость древесины – постоянна. Для слабосжимаемых жидкостей зависимость плотности от давления имеет следующий вид:

$$\rho(x, t) = \rho_0 + \beta_{\text{сж}}(P(x, t) - P_0). \quad (12)$$

Здесь коэффициент сжимаемости жидкости  $\beta_{\text{сж}}$  – малая величина. Коэффициент пластичности древесины в уравнении (3) – также малая величина. Следовательно, в работе [3] принято возможным пренебречь малыми изменениями пористости древесины, а в [1] – сжимаемостью жидкости.

Решение уравнения (3) нами получено как для постоянных условий (4) – (7), так и для произвольных. Но само решение является очень сложным и громоздким, поэтому применить его в практических условиях затруднительно. На основании анализа теоретических и экспериментальных данных считаем, что можно пренебречь в инженерных расчетах обеими малыми величинами: коэффициентами пластичности древесины и сжимаемости жидкости.

В связи с этим задачу фильтрации слабо сжимаемой жидкости в таком малоэластичном материале, как древесина, можно сформулировать следующим образом:

при условиях (4) – (7) решить уравнение

$$\frac{\partial^2 P(x, t)}{\partial x^2} = 0. \quad (13)$$

Решение задачи (13), (4) – (7) значительно проще, чем задачи (3) – (7).

Общим решением уравнения (13) является линейная функция по переменной  $x$ :

$$P(x, t) = C_1(t)x + C_2(t). \quad (14)$$

Из условий (4), (5) находим произвольные постоянные

$$C_2(t) = P_{\text{вн}}; \quad \tilde{N}_1(t) = \frac{P_0 - P_{\text{аф}}}{\xi(t)}. \quad (15)$$

Используя условие (6), получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{P_0 - P_{\text{аф}}}{\xi(t)} = -\frac{\mu_0 \rho_0}{k_\delta} \frac{d\xi(t)}{dt}, \quad (16)$$

решение которого с учетом начального условия (7) имеет вид

$$\xi(t) = \sqrt{\frac{2k_\delta}{\mu_0 \rho_0} (P_{\text{аф}} - P_0) t}. \quad (17)$$

После подстановки (15), (17) в выражение (14) получаем второе решение задачи (13), (4)–(7):

$$P(x, t) = P_{\text{аф}} - x \sqrt{\frac{P_{\text{аф}} - P_0}{2k_\delta t} \mu_0 \rho_0}. \quad (18)$$

Таким образом получены зависимости глубины проникновения жидкости  $\xi(t)$  от времени (17) и давления  $P(x, t)$  от глубины и времени (18).

Проведем сравнительный анализ решений (8) и (17) при следующих значениях постоянных величин [6]:  $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ ;  $\mu_0 = 0,6$ ; для заболони ели  $k_\phi = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ г/(см}\cdot\text{мин}\cdot\text{МПа)}$ ,  $\beta_{\text{пл}} = 1,51 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{Па}}$ . Избыточное давление

жидкости и начальное давление воздуха внутри изделия приняты постоянными:  $P_{\text{вн}} = 1,2 \text{ МПа}$ ,  $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$ . Результаты приведены на рис. 1, из которого видно, что решения (17) и (8) практически совпадают.

Рис. 1. Зависимость глубины пропитки  $x$  от времени  $t$  при коэффициенте пластичности древесины  $\beta_{\text{пл}} = 1,51 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{Па}}$  (1, 2 – соответственно графики решений (17) и (8))

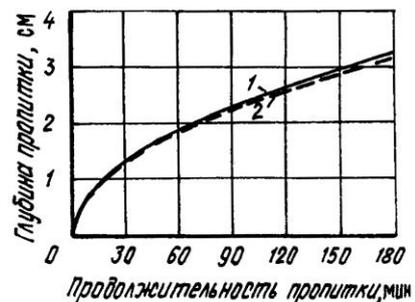
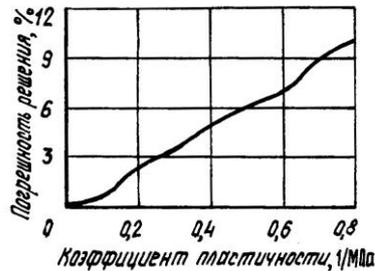


Рис. 2. Погрешность решения (17) относительно решения (8) при изменении коэффициента пластичности



Причем, если коэффициент пластичности не более  $0,5 \frac{1}{\text{МПа}}$ , то относительная погрешность не превышает 6 % (рис. 2).

По экспериментальным данным Б.Н. Уголева [6] наименьший модуль упругости при растяжении в радиальном направлении ( $0,54 \cdot 10^3$  МПа) имеет древесина сосны, что соответствует наибольшему коэффициенту пластичности ( $1,85 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{МПа}}$ ).

Таким образом, задачу фильтрации жидкости в древесине можно формулировать в более простом виде (13), (4) – (7). Это достаточно точное и несложное решение приемлемо для использования в инженерной практике. В решении (17) отчетливо видно влияние постоянных параметров  $k_f$ ,  $\mu_0$ ,  $\rho_0$ ,  $P_{вн}$ ,  $P_0$  на процесс пропитки. Например, древесина, имеющая больший коэффициент фильтрации, пропитывается быстрее.

Полученное решение можно применять для исследования фильтрационных свойств капиллярно-пористых материалов, имеющих коэффициент пластичности менее  $0,5 \frac{1}{\text{МПа}}$ .

На основании соотношения (17) можно получить зависимость коэффициента фильтрации от времени и глубины проникновения жидкости. Поскольку коэффициент фильтрации в лабораторных условиях определяют по закону Дарси только при наступлении стационарного режима, то испытания древесины на проницаемость жидкостями занимают много времени. Имея соотношение (17), можно определять коэффициент фильтрации, не дожидаясь стационарного процесса.

Проблемы возникают и с определением коэффициента пористости. Для движения жидкости в древесине под давлением необходима влагонепроводящая система. Одни исследователи [2] считают, что жидкость движется по капиллярам [4], другие – что она проникает преимущественно по сердцевинным лучам, а поры, к которым эти лучи не идут, ее практически не пропускают. В любом случае при исследовании фильтрационных процессов необходимо знать коэффициент пористости, который характеризует так называемое активное сечение. Но даже одна и та же порода древесины, произрастающая на разных почвах, может различаться по плотности, содержанию

на возможность перемещения воды, от чего напрямую зависит коэффициент пористости.

Целесообразно объединить коэффициенты фильтрации и пористости древесины. В условия задачи (13), (4) – (7) эти коэффициенты и плотность жидкости входят в совокупности. Поэтому нами предложено ввести обобщенный коэффициент проницаемости древесины в виде соотношения

$$k = \frac{k_0}{\mu_0 \rho_0} .$$
 Обобщенный коэффициент проницаемости характеризует филь-

трационные свойства древесины в целом и зависит от свойств жидкости, которой пропитывается древесина, количества сообщающихся пор и т.д. При необходимости в него можно включить и коэффициент вязкости жидкости. Если использовать при расчетах обобщенный коэффициент, часть проблем трудоемкой методики Е.В. Харук [7] разрешится.

Предложенное в настоящей работе допустимое пренебрежение в расчетах малыми значениями коэффициентов сжимаемости пропиточной жидкости и пластичности древесины существенно упрощает решение задачи фильтрации не только при постоянных краевых условиях. Круг точно решаемых задач фильтрации жидкости в таком пористом природном материале, как древесина, расширяется.

#### Выводы

1. Предложено использовать обобщенный коэффициент проницаемости древесины, который характеризует фильтрационные свойства как древесины, так пропиточного раствора.

2. На основании анализа теоретических и экспериментальных данных разработан метод вычисления коэффициента проницаемости древесины жидкостями, удобный для использования в инженерной практике.

3. На основании пренебрежения в расчетах малыми значениями коэффициентов сжимаемости пропиточной жидкости и пластичности древесины получена зависимость глубины пропитки изделий защитными препаратами от продолжительности приложения избыточного давления, которую можно использовать при разработке технологических режимов автоклавной пропитки крупногабаритных изделий из древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варфоломеев Ю.А., Баданина Л.А., Агапов Д.В. Решение краевой задачи Стефана для уравнения фильтрации жидкости в древесине // Межвуз. сб. науч. тр. / ПГУ. – 2000. – Вып.3: Вестник математического факультета. – С. 16–21.

2. Ермолин В.Н. Модель древесины как объекта пропитки // Лесн. журн. – 1997. – №3. – С. 75–79. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы. – М.: Мир, 1964. – 350 с.

4. Оснач Н.А. Проницаемость и проводимость древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 184 с.

5. Серговский П.С., Расев А.И. Гидродинамическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 359 с.
6. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 366 с.
7. Харук Е.В. Проницаемость древесины некоторых хвойных пород.– Красноярск: Красноярское книжное изд-во, 1969. – 94 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 06.03.03

*Yu.A. Varfolomeev, L.A. Badanina*

### **Calculation of Permeability by Protective Agents under Excessive Pressure**

A method accessible for use in the engineering practice has been developed for calculating wood permeability by protective agents. Dependence of the depth of items impregnation by protective agents on the duration of application of excessive pressure has been obtained.





## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 661.728.82

***В.В. Коньшин, А.А. Беушев, В.Г. Шабалин,  
Н.А. Чемерис, М.М. Чемерис***

Коньшин Вадим Владимирович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Алтайский государственный университет, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области химии древесины и ее основных компонентов.



Беушев Александр Анатольевич родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Алтайский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет 7 публикаций в области химии древесины и ее основных компонентов.



Шабалин Владимир Григорьевич родился в 1974 г., окончил в 1997 г. Алтайский государственный университет, аспирант кафедры технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет 10 публикаций в области химии древесины и ее основных компонентов.



Чемерис Надежда Андреевна родилась в 1946 г., окончила в 1970 г. Сибирский технологический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры общей, неорганической и аналитической химии Алтайского политехнического университета. Имеет около 50 научных трудов в области химии древесины и ее основных компонентов.



Чемерис Михаил Матвеевич родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Томский политехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии переработки пластмасс и эластомеров Алтайского государственного технического университета. Имеет более 100 научных публикаций в области химии древесины и ее основных компонентов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ АЦИЛИРОВАНИЯ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ СМЕСЬЮ КАРБОНОВАЯ КИСЛОТА – ТИОНИЛХЛОРИД – ТРИФТОРУКСУСНАЯ КИСЛОТА**

Рассмотрен механизм взаимодействия целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов со смесью алифатическая карбоновая кислота – тионилхлорид – трифторуксусная кислота; из ацилированных лигноцеллюлозных материалов получены сложные эфиры целлюлозы.

Ключевые слова: ацилирование, трифторуксусная кислота, карбоновая кислота, тионилхлорид, целлюлоза, лигноцеллюлозный материал, сложный эфир целлюлозы.

Среди большого многообразия полимеров, используемых в настоящее время, особое место занимают сложные эфиры целлюлозы. При введении в состав целлюлозы ацильных групп она приобретает ряд ценных свойств: растворимость в большом числе органических растворителей, гидрофобность, окрашиваемость, совместимость с пластификаторами, устойчивость к действию радиации, термопластичность и т.д. [7, 9].

Проведенные нами исследования показали, что целлюлоза очень легко и исчерпывающе ацилируется ангидридами, галогенангидридами карбоновых кислот в среде трифторуксусной кислоты (ТФУК).

Применение в качестве растворителя ТФУК, одновременно выполняющей роль катализатора реакции, позволило разработать ряд способов получения в мягких условиях сложных эфиров целлюлозы с карбоновыми кислотами [1, 2, 6, 10, 11, 13], в том числе и таких, которые другими способами получить крайне сложно: частичнозамещенных растворимых в органических растворителях ацетатов целлюлозы [2, 13] напрямую из целлюлозы, смешанных сложных эфиров целлюлозы [1, 10, 11], сложных эфиров целлюлозы с высшими алифатическими карбоновыми кислотами [6, 10].

При этом в качестве ацилирующих реагентов можно использовать ангидриды и хлорангидриды карбоновых кислот, смесь ангидридов и карбоновых кислот [8].

Применение хлорангидридов карбоновых кислот в качестве ацилирующих агентов не очень удобно в силу высокой летучести, легкой гидролизности, затрудняющих их синтез и хранение. Решением данной проблемы могло бы служить использование ацилирующей смеси, процесс образования хлорангидридов в которой протекал бы непосредственно во время синтеза, минуя стадию их выделения. Примером такой смеси является система, содержащая алифатическую карбоновую кислоту, тионилхлорид и ТФУК, так как известно, что хлорангидриды легко образуются при взаимодействии тионилхлорида и карбоновой кислоты по уравнению [4]:



Однако такая реакционная смесь при различных соотношениях ТФУК, тионилхлорида и карбоновой кислоты не ацилирует целлюлозу или ацилирует ее в незначительной степени. Кроме того, в этих условиях не происходит растворения целлюлозы, хотя известно, что целлюлоза в ТФУК растворяется [11, 13], и этот процесс зачастую сопровождается ее трифторацетилизацией до степени замещения  $S_3 = 1$ . Как можно предположить, столь неожиданное поведение реакционной смеси по отношению к целлюлозе связано со специфическим действием тионилхлорида.

В связи с этим нами проведено исследование взаимодействия тионилхлорида в ТФУК с целлюлозой в присутствии различных ацилирующих агентов и без них.

Установлено (табл. 1), что ТФУК в присутствии тионилхлорида в количестве более 3 молей на одно глюкопиранозное звено (ГПЗ) теряет способность растворять и трифторацетилировать целлюлозу.

В табл. 2 представлены результаты ацилирования целлюлозы в среде ТФУК различными агентами в присутствии тионилхлорида.

При увеличении количества тионилхлорида в ацилирующей смеси до 9 моль/ГПЗ наблюдается ингибирование процесса замещения ОН-групп на ацетильные при обработке целлюлозы ангидридом и хлорангидридом

Таблица 1

#### Взаимодействие целлюлозы со смесью тионилхлорид (ТХ) – ТФУК

Количество ТХ, моль/ГПЗ	Растворимость целлюлозы в смеси	Степень замещения на трифторацетильные группы
$\geq 3$	Не растворяется	0
1,5...3,0	Не растворяется	0,3...0,4
0,5...1,5	Растворяется	0,8...0,9

Примечание. Продолжительность реакции 3 ч; температура 25 °С; количество ТФУК – 70 моль/ГПЗ.

Таблица 2

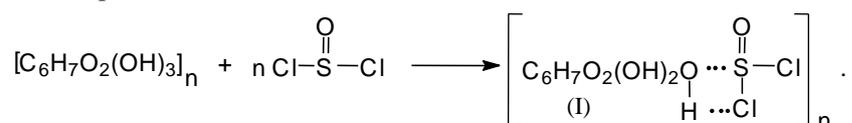
#### Влияние ТХ на результаты ацилирования целлюлозы в среде ТФУК

Ацилирующий агент	Количество ТХ, моль/1 ГПЗ	Количество связанной уксусной кислоты (УК), %	Степень замещения
Ацетилхлорид	0,0	59,9	2,79
То же	2,0	58,1	2,64
»	3,0	55,1	2,42
»	4,5	31,3	1,08
»	9,0	15,6	0,47
Уксусный ангидрид	4,5	47,4	1,92
Уксусная кислота	4,5	4,2	0,12

Примечание. Соотношение ацилирующий агент : ТФУК = 4,5 : 70 моль/ГПЗ; температура 25 °С; продолжительность реакции 3 ч.

уксусной кислоты. Не наблюдается также и хлорирования гидроксильных групп целлюлозы с образованием хлордезоксицеллюлозы, на что указывает отрицательная реакция на галоген.

Можно предположить, что тионилхлорид образует устойчивый аддукт с OH-группами целлюлозы на поверхности кристаллита, тем самым затрудняя осуществление ТФУК функций растворителя и катализатора реакции ацилирования:



Вследствие этого в присутствии тионилхлорида ацилированием целлюлозы уксусной кислотой в среде ТФУК получить ацетаты целлюлозы с высоким содержанием связанной кислоты не удастся.

Как было установлено ранее [5, 12], эфиры целлюлозы можно получать не только из самой целлюлозы, но и из целлюлозосодержащих материалов, в частности из древесины.

В табл. 3 представлены результаты ацилирования древесины осины системой карбоновая кислота – тионилхлорид – ТФУК и выделения из полученных продуктов эфиров целлюлозы.

Выделение ацетатов целлюлозы из ацилированной древесины проводили по методике [12].

Таким образом, ацилирование древесины реакционной смесью уксусная кислота – тионилхлорид – ТФУК в отличие от целлюлозы протекает достаточно полно. Возможно, наличие разветвленной сетки лигнина препятствует образованию аддукта тионилхлорида с нативной целлюлозой, что дает трифторуксусной кислоте возможность осуществить свои функции растворителя. Аналогичным образом можно получить сложные эфиры с другими карбоновыми кислотами, включая и высшие, например с пальмитиновой.

Для более детального изучения механизма протекающих при ацилировании целлюлозы и древесины процессов ТХ подвергали взаимодействию с пальмитиновой кислотой при температуре 60 °С в присутствии ТФУК и без нее. Не прореагировавшие ТХ и ТФУК удаляли под вакуумом.

Таблица 3

Ацилирование древесины осины реакционной смесью УК – ТХ – ТФУК

Продолжительность реакции, ч	Привес ацилированного лигноцеллюлозного материала (ЛЦМ), %	Выход ацетата целлюлозы, %	Количество связанной УК в ацетате целлюлозы, %	Степень замещения
3	50,0	73,3	56,2	2,50
6	49,0	75,3	56,8	2,55
12	48,0	78,0	59,4	2,75
24	43,5	81,3	59,0	2,71

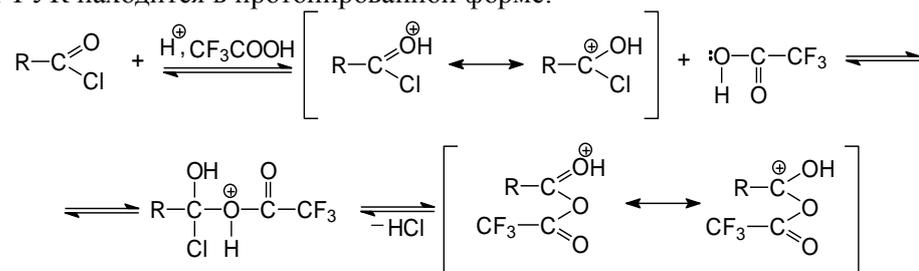
Примечание. Соотношение УК : ТХ : ТФУК = 0,025 : 0,025 : 0,1 моль/1г древесных опилок.

ИК-спектр продукта взаимодействия тионилхлорида и пальмитиновой кислоты содержит две полосы ( $1740$  и  $1800\text{ см}^{-1}$ ) и полностью соответствует спектру хлорангидрида пальмитиновой кислоты. В ИК-спектре продукта взаимодействия тионилхлорида, пальмитиновой кислоты и ТФУК происходит смещение полосы поглощения из области  $1800\text{ см}^{-1}$  в область  $1820\text{ см}^{-1}$ , которая характерна для поглощения  $\text{C}=\text{O}$  смешанных ангидридов карбоновой кислоты и ТФУК [3].

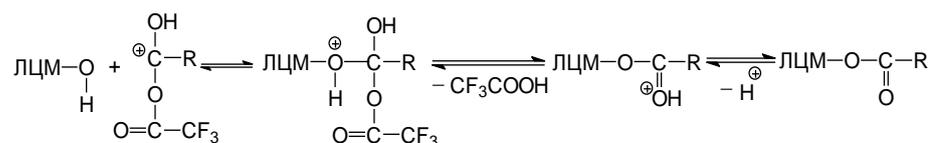
Продукт взаимодействия пальмитиновой кислоты, тионилхлорида и ТФУК исследовали методом ПМР-спектроскопии. Анализ спектра показал наличие в области  $2,00 \dots 2,50$  м.д. трех триплетов. Сигнал при  $2,35$  м.д. отнесен к сигналам протонов  $-\text{CH}_2-$  группы, связанной непосредственно с карбонильной группой смешанного ангидрида пальмитиновой и трифторуксусной кислот, при  $2,29$  м.д. – к сигналам протонов той же группы в хлорангидриде пальмитиновой кислоты. Сигнал при  $2,25$  м.д. отнесен к метиленовой группе, непосредственно связанной с карбоксильной группой пальмитиновой кислоты. Мультиплет в области  $1,12$  м.д. относится к сигналам остальных протонов пальмитиновой кислоты и ее производных. Кроме того, в спектре присутствует сигнал протонов  $\text{OH}$ -группы пальмитиновой кислоты в области  $11,00$  м.д.

Таким образом, на основании спектральных данных можно сделать вывод, что при ацилировании древесины смесью карбоновая кислота – тионилхлорид – ТФУК реакции протекают по следующим направлениям:

1. Взаимодействие карбоновой кислоты с тионилхлоридом с образованием хлорангидрида.
2. Взаимодействие хлорангидрида карбоновой кислоты с трифторуксусной кислотой и образование смешанного ангидрида, который в среде ТФУК находится в протонированной форме:



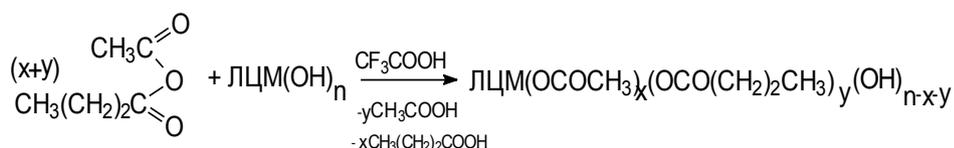
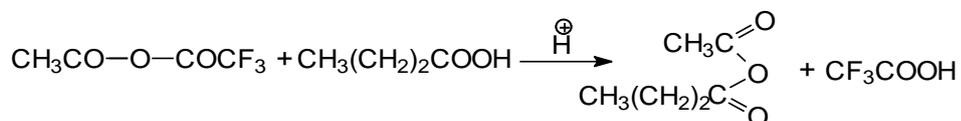
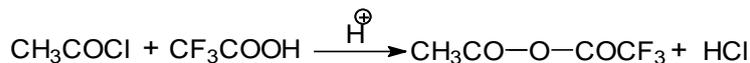
3. Атака образовавшимся карбокатионом неподеленной электронной пары кислорода гидроксильной группы древесины с последующим образованием сложноэфирной связи:



Для подтверждения сделанных предположений проведено ацилирование древесины реакционной смесью, состоящей из ацетилхлорида, масляной кислоты (МК) и ТФУК. В том случае, если в смеси образуется смешанный ангидрид трифторуксусной и уксусной кислот, то следует ожидать и образования смешанного ангидрида масляной кислоты, который должен ацилировать древесину. Для проведения реакции брали эквимольное количество хлористого ацетила и масляной кислоты (соотношение АХ:МК:ТФУК = 0,02:0,02:0,1 моль/1 г древесных опилок, продолжительность реакции 3 ч, температура 25 °С). Получение продукта, содержащего в связанном виде уксусную и масляную кислоты, явилось бы доказательством того, что ацилирующим агентом в реакции ацилирования хлорангидридами карбоновых кислот в среде ТФУК является смешанный ангидрид трифторуксусной и карбоновой кислот.

Результаты газохроматографического анализа карбоновых кислот, полученных после гидролиза ацилированных продуктов древесины, показывают, что в ходе реакции связывается 20,1 % уксусной кислоты и 40,1 % масляной кислоты.

Синтез древесины, содержащей в связанном виде уксусную и масляную кислоты, можно представить следующими уравнениями:



Таким образом, в присутствии ТФУК, карбоновых кислот и тионилхлорида, происходит образование активного ацилирующего агента – смешанного ангидрида ТФУК и алифатической карбоновой кислоты. Взаимодействие ЛЦМ с предложенной смесью приводит к исчерпывающему ацилированию ОН-групп компонентов древесины. Из модифицированных таким образом ЛЦМ количественно выделены сложные эфиры целлюлозы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1525168 СССР, МКИ<sup>7</sup> С 08 В 3/00. Способ получения сложных эфиров целлюлозы / М.М. Чемерис, Б.Н. Салин, Н.В. Еременко // Открытия. Изобрет. – 1991. – № 19.
2. А.с. 1597359 СССР, МКИ<sup>7</sup> С 08 В 3/06. Способ получения растворимых частичнозамещенных ацетатов целлюлозы / Б.Н. Салин, М.М. Чемерис, Т.И. Дулепова и др. // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 37.

3. *Казицина Л.А., Куплетская Н.Б.* Применение УФ, ИК, ЯМР и масс-спектрологии в органической химии. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1979. – 240 с.
4. *Ким А.М.* Органическая химия. – Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2001. – 814 с.
5. *Коньшин В.В. и др.* Получение ацетилцеллюлозы из древесины лиственных и хвойных пород / В.В. Коньшин, М.М. Чемерис, Н.А. Чемерис и др. // Материалы III Междунар. симпозиума «Строение, свойства и качество древесины – 2000». – Петрозаводск, 2000. – С. 249–250.
6. *Коньшин В.В. и др.* Синтез и исследование смешанных эфиров целлюлозы с высшими карбоновыми кислотами в среде трифторуксусной кислоты / В.В. Коньшин, М.М. Чемерис, Н.П. Мусько и др. // Лесн. журн. – 2000. – № 5-6. – С. 165–167. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П.* Химия древесины и целлюлозы. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 368 с.
8. Решение о выдаче патента «Способ получения сложных эфиров целлюлозы» / М.М. Чемерис и др. № 93-036502/04/036099/ от 10.04.95.
9. *Роговин З.А.* Химия целлюлозы. – М.: Химия, 1972. – 520 с.
10. *Салин Б.Н. и др.* Трифторуксусная кислота как растворитель для синтеза сложных эфиров целлюлозы. 1. Синтез триэфиров целлюлозы и алифатических карбоновых кислот / Б.Н. Салин, М.М. Чемерис, Д.П. Миронов и др. // Химия древесины. – 1991. – № 3. – С. 65–69.
11. *Салин Б.Н., Чемерис М.М., Маликова О.Л.* Трифторуксусная кислота как растворитель для синтеза сложных эфиров целлюлозы. 3. Синтез смешанных сложных эфиров целлюлозы // Химия древесины. – 1991. – № 4. – С. 20–21.
12. *Чемерис М.М. и др.* Получение сложных эфиров целлюлозы из ацилированной древесины / М.М. Чемерис, Н.П. Мусько, О.Л. Маликова и др. // Лесн. журн. – 1998. – № 6. – С. 89–94. – (Изв. высш. учеб. заведений).
13. *Чемерис М.М. и др.* Трифторуксусная кислота как растворитель для синтеза сложных эфиров целлюлозы. 2. Синтез частичнозамещенных первичных ацетатов целлюлозы / М.М. Чемерис, Б.Н. Салин, Н.А. Чемерис и др. // Химия древесины. – 1991. – № 3. – С. 70–75.

Алтайский государственный  
технический университет

Поступила 24.06.02

*V.V. Konshin, A.A. Beushev, V.G. Shabalin,  
N.A. Chemeris, M.M. Chemeris*

### **Investigation of Acidification Reaction of Lignocellulose Materials by Mixture of Carboxylic acid - thionyl chloride - trifluoroacetic acid**

Mechanism of interaction of pulp and lignocellulose materials with a mixture: "aliphatic carboxylic acid - thionyl chloride - trifluoroacetic acid" is considered. Cellulose ethers are produced out of acidated lignocellulose materials.

УДК 676.1.022

**Э.И. Гермер**

Гермер Эмиль Исаакович родился в 1937 г., окончил в 1962 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор химических наук, директор по новой технике, технологии и науке Северо-Западной лесопромышленной компании. Имеет свыше 160 научных трудов по химии и технологии варки целлюлозы, в настоящее время занимается технологией, химией и катализом новых и традиционных способов делигнификации древесины.

**ХИМИЗМ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ  
ПРИ ОРГАНСОЛЬВЕНТНЫХ ВАРКАХ**

С единых позиций рассмотрен химизм делигнификации при различных, наиболее типичных, вариантах органосольвентных варок: в среде алифатических кислот (уксусная, муравьиная) с участием окислителей (кислород, пероксид водорода) и без них; в водно-спиртовой кислой или щелочной среде с участием молекулярного кислорода и без него.

Ключевые слова: органосольвентная делигнификация, химизм, кислород, пероксиды, спирты.

Органосольвентные варки имеют ряд общих черт, главная из которых – большое количество органического растворителя в варочной системе, оказывающего существенное влияние не только на технологию, но и на физико-химию протекающих процессов. (Как правило, в системе растворитель – вода, используемой для получения целлюлозы с приемлемыми товарными свойствами, доля первого компонента составляет 30 ... 70 %, а в варках с чисто исследовательскими функциями – до 100 %). Это позволяет рассматривать химизм делигнификации при органосольвентных варках с единых позиций, независимо от того реализуются они в присутствии, например, окислителей или без них, в кислой или щелочной среде и т.п. Однако сосредоточение внимания на специфических особенностях химизма того или иного варианта органосольвентных варок зачастую происходит при недостаточном внимании к общим чертам, свойственным этим варкам в целом, при отсутствии их рассмотрения с единых химических позиций. Подобный подход препятствует правильному и всестороннему пониманию сущности таких работ и, может быть, в определенной мере даже тормозит прогресс в изучении химизма органосольвентной делигнификации. Попыткой в какой-то степени ликвидировать указанный выше недостаток и является настоящая работа.

Большинство органосольвентных варок реализуется в кислой среде (рН 2 – 4). Именно эта среда имеется ввиду при дальнейшем описании химизма делигнификации во всех случаях, кроме последнего, где переход к рассмотрению делигнификации в щелочной среде специально оговорен.

Начальная стадия делигнификации сопровождается развитием гетеролитической реакции, ведущей к протонированию кислородного атома бензильной группировки с дальнейшим превращением этого интермедиата или в бензильный карбкатион, или непосредственно в продукт замещения  $\alpha$ -эфирной группы тоже на эфирную, но имеющую в своем составе ацетильную, формильную, метоксильную, этоксильную и т.п. группировки – в зависимости от вида органического растворителя (схема 1):

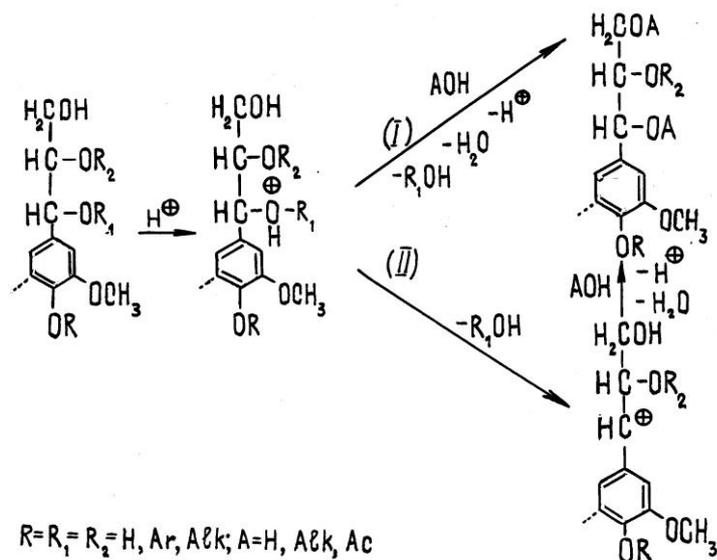


Схема 1

Расщепление простых  $\alpha$ -эфирных связей в обычных (без окислителя) органосольвентных варках считается основной реакцией, ведущей к фрагментации макромолекулы лигнина [12], которая может реализовываться с участием структур как со свободным, так и алкилированным фенольным ( $OH_{\phi}$ ) гидроксилом (схема 1).

Кроме того, в результате расщепления простых  $\alpha$ -эфирных связей не только в открытых  $\alpha$ -алкил-арильных, но и в циклических фенилкумарановых структурах, содержание фенилпропановых единиц (ФПЕ) со свободным фенольным гидроксилом возрастает примерно в 1,5 раза (с 30–35 до 45–50 на 100 ФПЕ). Образующиеся при этом, а также содержащиеся в протолигнине структуры типа  $\beta$ -гваяцилового эфира гваяцилглицерина через интермедиат с протонированным бензильным атомом кислорода (схема 1, первая ступень) трансформируются в результате элиминирования  $\beta$ -протона и молекулы воды в структуры с двойной  $\alpha=\beta$  связью, которые достаточно легко гидролизуются с расщеплением уже  $\beta$ -эфирной связи [12] (схема 2, основной маршрут). К аналогичным структурам с двойной  $\alpha=\beta$  связью приводит и  $\beta$ -депротонирование бензильного карбкатиона, образующегося по схеме 1 (схема 2, маршрут 2). Указанный процесс  $\beta$ -депротонирования является лимитирующим при фрагментации лигнина в органосольвентных варках [5]:

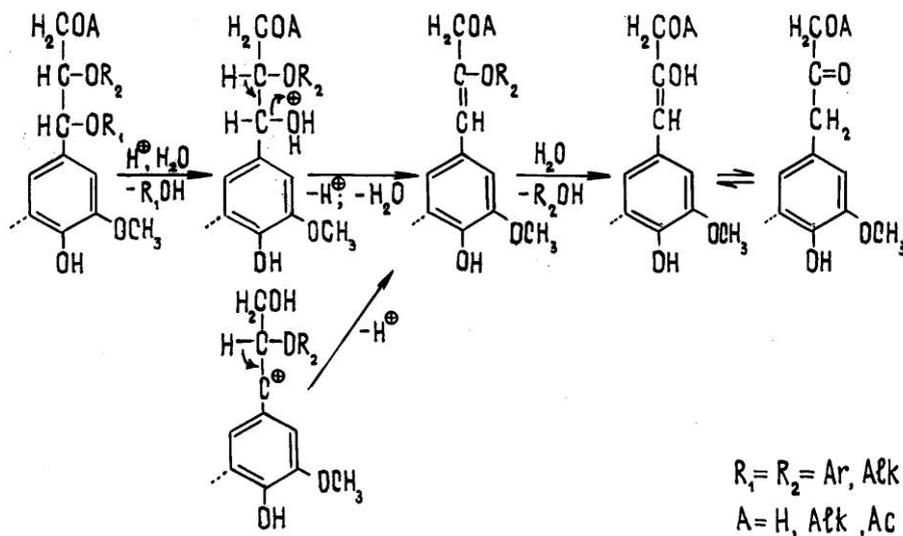
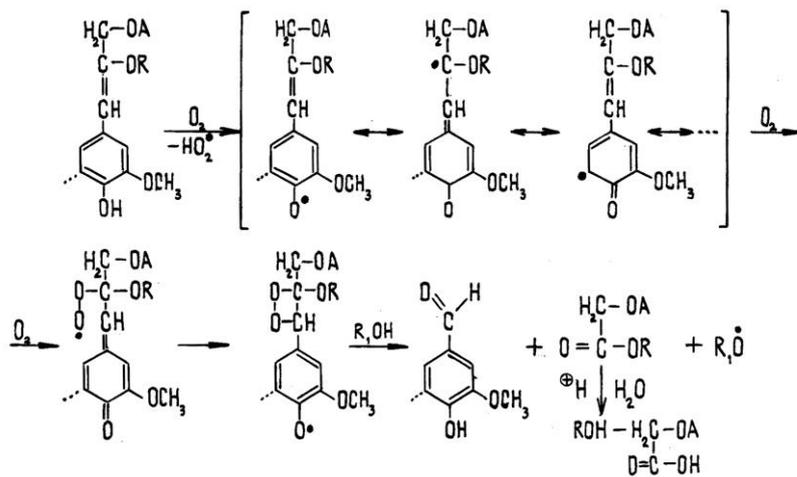


Схема 2

Двойные  $\alpha=\beta$  связи относительно стабильны в сольволитических процессах. Однако в присутствии окислителей типа кислорода или пероксидов эти связи легко расщепляются, что приводит к дополнительному и весьма важному каналу фрагментации лигнина. Механизм обсуждаемых реакций некоторыми исследователями предполагается свободнорадикальным [3, 5, 8]. Такая трактовка в значительной степени базируется на известном, достаточно легком образовании феноксильного радикала в составе феноксилированных структур вследствие делокализации спиновой плотности по системе сопряженных связей [3, 5] (схема 3):



$A = \text{H, Alk, Ac}$ ;  $R = \text{H, Ar}$ ;  $R_1 = \text{Alk, Ar}$

Схема 3

К усилению фрагментации лигнина при кислородно-органосольвентных варках ведет также взаимодействие кислорода со структурами, имеющими кетонную группу в алкильной цепи, так как, кроме наличия таких структур в протолигнине, они образуются (в том числе и кетоны Гибберта) в обычной кислой органосольвентной варке при расщеплении  $\beta$ -эфирной связи [12] (см. схему 2), а также вследствие оксигенирования алкильной цепи ФПЕ лигнина нуклеофильными кислородсодержащими окислителями. На основании [3] эти взаимодействия представлены на схеме 4:

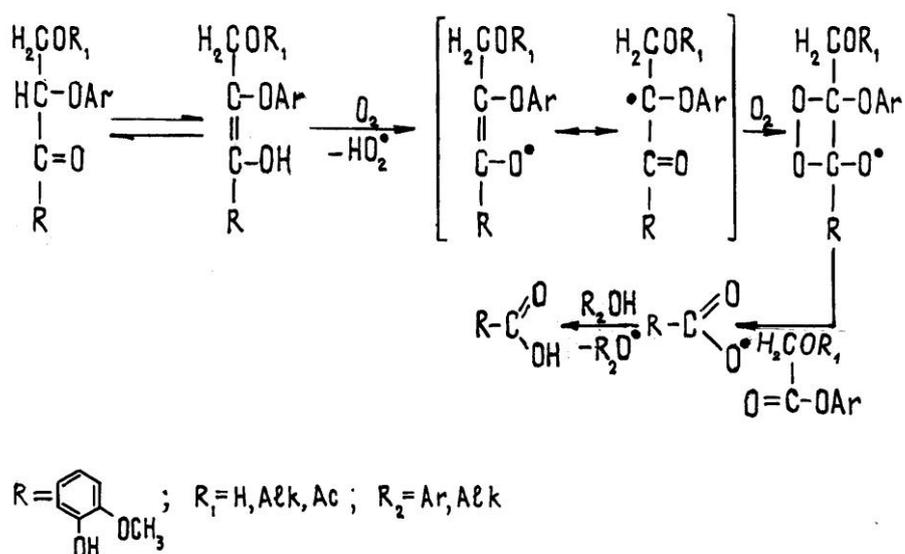


Схема 4

Под действием молекулярного кислорода, являющегося бирадикалом, также возможна его рекомбинация с резонансной формой феноксирадикала по  $C_3$ - или  $C_5$ -атомам ароматического ядра с последующим его раскрытием и образованием муконовокислых остатков [8].

Что касается реакций, ведущих к фрагментации лигнина при делигнификации пероксикислотами, образующимися как основные делигнифицирующие агенты при добавлении пероксида водорода в муравьиную или уксусную кислоты (в частности в способе MILOX), то их можно иллюстрировать схемами действия пероксиуксусной кислоты в кислой среде, предлагаемыми Гирером на основании результатов работ ряда исследователей с модельными соединениями лигнина [10]. Беря за основу гетеролитический механизм, Гирер полагает, что при этом активные центры лигнина атакуются катионами гидроксония  $HO^+$  – электрофильными частицами, образуемыми пероксикислотами в кислой среде. Рассмотрим основные реакции, непосредственно ведущие к расщеплению макромолекулы лигнина (схемы 5, 6):

а) реакция расщепления  $\alpha$ - и  $\beta$ -эфирных связей:

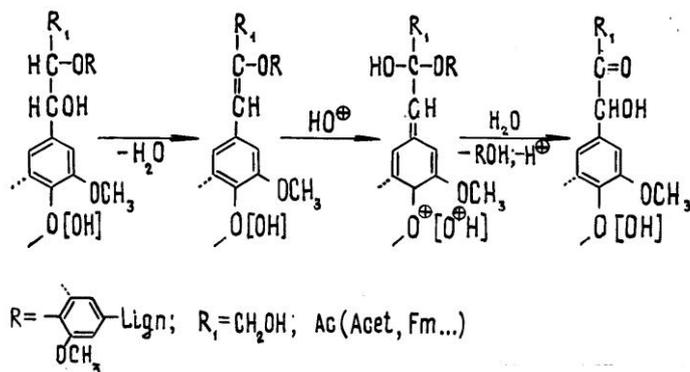


Схема 5

б) реакция вытеснения алкильной цепи:

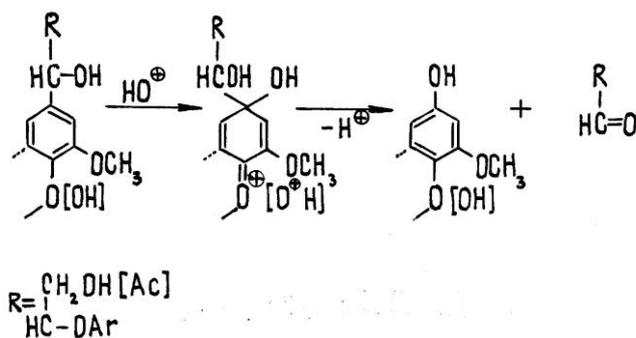


Схема 6

Образование интермедиата с двойной  $\alpha=\beta$  связью, получаемого в схеме 5 на первой ступени, можно представить и через депротонирование интермедиатов, характерных для кислой органосольвентной варки, – бензильного карбокатиона или структуры с протонированным бензильным атомом кислорода (схема 2, продукт второй ступени).

Ряд реакций с участием катиона гидроксония способствуют повышению реакционной способности лигнина, хотя непосредственно к фрагментации не ведут [10]. К ним можно отнести реакции прямого гидроксирования ароматического ядра и деметилирования гваяцильных (сирингильных) ядер с образованием промежуточной *орто*-хинонной структуры.

Реакции расщепления ароматического ядра ведут к снижению степени ароматичности лигнина (схема 7):

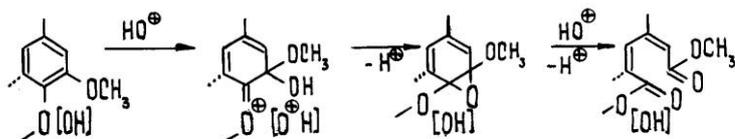


Схема 7

Структуры с двойной  $\alpha=\beta$ -связью в алкильной цепи через реакцию с гидроксонием [10] или с пероксирадикалом [3] через относительно стабильный эпокисный интермедиат способны, тем не менее, трансформироваться далее в предельные структуры с гидроксилем при  $\beta$ -C атоме.

Для органосольвентных варок, реализуемых в кислой среде как без окислителей, так и с окислителями (кислород, пероксикарбоновые кислоты и др.), характерны реакции внутримолекулярной (*а*) и межмолекулярной (*б*) конденсации [5, 7, 12] (схема 8):

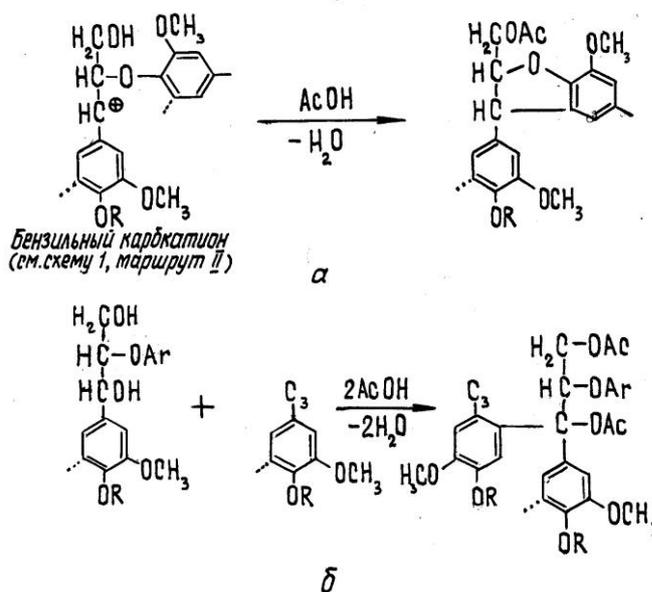
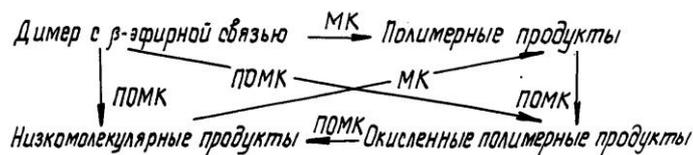


Схема 8

Особенно эти реакции характерны при использовании муравьиной кислоты, имеющей кислотность на порядок выше, чем, например, уксусная.

Образующиеся конденсационные продукты, тем более в сочетании с ацилированием первичных и вторичных алифатических гидроксильных групп, затрудняют фрагментацию лигнина по  $\alpha$ - и  $\beta$ -0-4 связям. Поэтому при варках в среде карбоновых кислот (особенно в среде муравьиной кислоты) при делигнификации снижается роль фрагментации лигнина и существенно возрастает роль его солюбилизации [7]. Появление в процессе варки наряду с муравьиной также и пероксимуравьиной кислоты позволяет (по-видимому, вследствие окислительной фрагментации лигнина) ускорить и, главное, углубить делигнификацию. Взаимосвязь процессов конденсации и фрагментации основных структур лигнина (типа  $\beta$ -гваяцилового и  $\beta$ -вератрилового эфира гваяцилглицерина) при одновременном присутствии в варочной системе муравьиной и пероксимуравьиной кислот изображена на схеме 9 [7]:



$\text{О} \qquad \qquad \qquad \text{О}$   
 Здесь МК :  $\text{НС} - \text{ОН}$ ; ПОМК :  $\text{НС} - \text{ООН}$ .

Схема 9

Вероятно, именно вследствие вышеуказанного в процессе МІЛОХ для достижения достаточно глубокой степени делигнификации лигноцеллюлозного сырья необходимо иметь ступень или две со смесью пероксикарбоновой и карбоновой кислот и ступень с одной карбоновой кислотой, так как в случае варки только в смеси упомянутых двух кислот будет чрезмерно высок расход пероксида водорода, добавляемого в карбоновую кислоту для частичного ее окисления до пероксикарбоновой, а в случае варки только в среде карбоновой кислоты из-за развития конденсационных реакций при ацилировании гидроксильных алифатической цепи, препятствующем фрагментации лигнина, нельзя будет достичь достаточно высокой степени делигнификации лигноцеллюлозного сырья за приемлемое время при относительно невысокой температуре (80 ... 100 °С), обеспечивающей допустимую селективность делигнификации.

Известны органосольвентные, главным образом, спиртовые варки, реализуемые в щелочной среде. Так как варочный раствор в этих случаях содержит 30 ... 70 % воды, и к тому же спирт является родственником воде, хотя и органическим гидроксилсодержащим растворителем, реакции, характерные для этих варок, преимущественно обусловлены наличием в растворе щелочи и описаны для щелочных водных растворов во многих работах, наиболее обобщающими из которых можно считать работы Гирера с сотрудниками [9, 11]. Однако присутствие растворителя, безусловно, оказывает свое специфическое влияние на делигнификацию, способствуя расщеплению  $\alpha$ -эфирных связей в структурах со свободным фенольным гидроксильным часто с алкилированием  $\alpha$ -С атома [12] (схема 10):

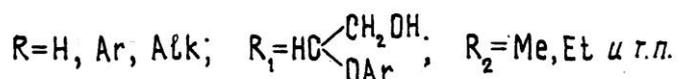
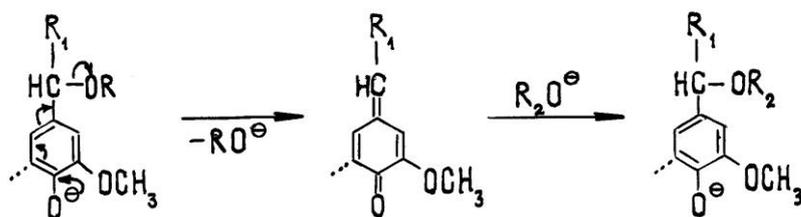
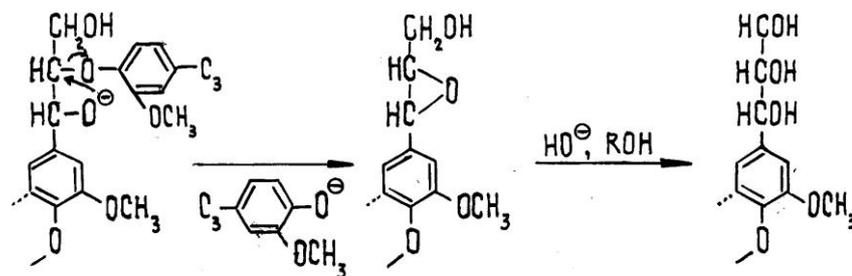


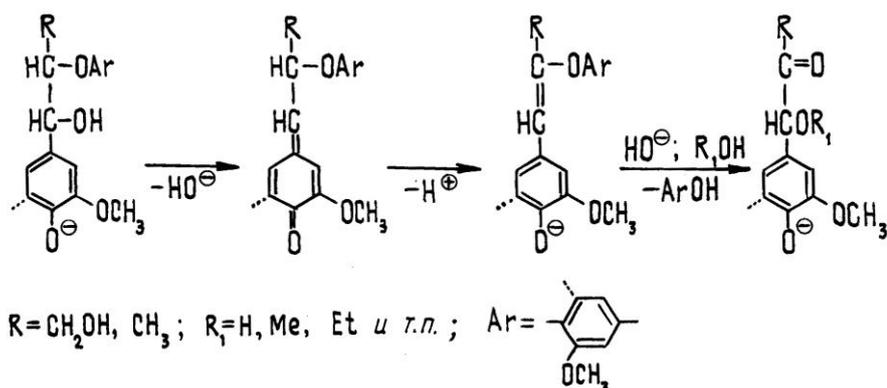
Схема 10

или расщеплению  $\beta$ -0-4 эфирных связей (схема 11 или 12 – в зависимости от того, свободен или алкилирован фенольный гидроксил) [6, 9, 11, 12]:



$R = H, Me, Et$  и т.п.

Схема 11



$R = CH_2OH, CH_3$ ;  $R_1 = H, Me, Et$  и т.п.;  $Ar =$

Схема 12

При алкилированном фенольном гидроксиле в структурах типа  $\beta$ -гваяцилового эфира гваяцилглицерина фрагментация реализуется посредством нуклеофильной атаки ионизируемого в щелочной среде алкильного гидроксила в  $\alpha$ -положении боковой цепи на соседний  $\beta$ -С атом с вытеснением ароксизаместителя и образованием оксиранового кольца, которое затем раскрывается с образованием вицинальных гидроксильных групп в алифатической цепи (см. схему 11) [6, с. 188; 12].

В случае ФПЕ со свободным фенольным гидроксильным группой первая ступень реакции – расщепление  $\alpha$ -эфирной связи – предшествует образованию хинонметидного интермедиата, через который образуется структура типа изоэвгена с последующим расщеплением  $\beta$ -эфирной связи (схема 12) [6, с. 191; 9; 11]. Однако и в структурах со свободной фенольной группой элиминирование  $\beta$ -арилэфирной группировки может частично проходить и по схеме 11, т.е. минуя образование промежуточного хинонметидного интермедиата. Однако это направление реакции является второстепенным [6, с. 191].

Как видно из схем 11 и 12, предварительное алкилирование  $\alpha$ -ОН группы под действием спирта должно затруднять фрагментационные

превращения и, тем самым, делигнификацию. Однако отрицательное влияние органического растворителя перекрывается усилением (благодаря его присутствию) растворяющего действия спирта в отношении лигнина. Кроме того, в щелочной среде заметно меньше, чем в кислой, развиты конденсационные процессы. Все это приводит к большей селективности органосольвентного варочного процесса в щелочной среде по сравнению с кислой [2]. Это относится и к кислородно-органосольвентным (спиртовым) варкам, о чем свидетельствует повышение выхода целлюлозы (при равном числе Каппа) на 3 ... 5 % от массы древесины при кислородно-щелочно-спиртовых варках по сравнению с кислородно-спиртовыми [1, 4].

Как видно из вышеизложенного, химизм делигнификации при различных вариантах органосольвентных варок может быть рассмотрен с единых позиций преимущественно гетерологических превращений, независимо от того, с участием какого органического растворителя, в кислой или щелочной среде, в присутствии или отсутствии окислителя была реализована та или иная варка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гермер Э.И., Горенков Р.А. Кислородно-щелочно-спиртовая варка древесины с катализатором // Целлюлоза, бумага, картон. – 1992. – № 10. – С. 23 – 24.
2. Гермер Э.И. Сравнительные исследования кислотно-катализируемой и щелочной водно-спиртовой делигнификации // 7-я Всесоюз. конф. по химии и использованию лигнина: Тез. докл. – Рига, 1987. – С. 107–108.
3. Дейнеко И.П., Ведерников Д.Н. О механизме окисольволиза лигнина // Изв. СПб ЛТА. – 1999. – Вып. 7(165). – С. 71–79.
4. Дейнеко И.П. Окисольволиз растительного сырья: достижения и перспективы // Изв. СПб ЛТА. – 1998. – Вып. 6(164). – С. 91–100.
5. Костюкевич Н.Г. Делигнификация древесины кислородом в растворах уксусной кислоты: Автореф. дис.... канд. хим. наук. – СПб, 1995. – 16 с.
6. Шорыгина Н.Н., Резников В.М., Елкин В.В. Реакционная способность лигнина. – М.: Наука, 1976. – 368 с.
7. Ede R.M., Brunow G. Reactions of  $\beta$ -aryl ether lignin model compounds under formic acid and peroxyformic acid pulping conditions// The Intern. Symp. on Wood and Pulping Chemistry. – Raleigh, -NC, -USA, May 22–25, 1989. Proceedings.
8. Evtuguin D.V., Deineko I.P. and Neto P. Oxygen delignification in aqueous organic solvents media // Cellulose Chem. and Technology. – 1999. – Vol. 33. – P. 103–123.
9. Gierer J. The chemistry of delignification. A general concept. Part 1 // Holzforschung. – 1982. – Bd. 36, N 1. – S. 43–51.
10. Gierer J. The chemistry of delignification. A general concept. Part 2 // Holzforschung. – 1982. – Bd. 36, N 2. – S. 55–64.
11. Gierer J. The reactions of lignin during pulping // Svensk Papperstidning. – 1970. – Vol. 73, N 18. – P. 571–596.

---

12. *McDonough T.J.* The chemistry of organosolv delignification // *Tappi J.* – 1993. – Vol. 76, N 8. – P. 186–193.

Северо-Западная  
лесопромышленная компания

Поступила 16.01.03

*E.I. Germer*

### **Chemistry of Delignification under Organosolv Cooking**

The chemistry of delignification under different most typical variants of organosolv cooking is viewed from the uniform positions: in the aliphatic acids medium (acetic, formic acids) with oxidizing agents (oxygen and hydrogen peroxide) and without them; in aqueous-alcoholic acid or alkaline medium with molecular oxygen and without it.

---

УДК 676.163.022

***Е.А. Покусаева, Е.В. Новожилов***

Покусаева Елена Александровна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. химико-технологический факультет Архангельского государственного технического университета. Закончила аспирантуру на кафедре биотехнологии АГТУ в 2002 г. Имеет 6 печатных работ в области переработки сульфитных щелоков.



Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета, лауреат премии им. М.В. Ломоносова Архангельской областной комсомольской организации. Имеет свыше 100 научных трудов в области технологии целлюлозы и технологии переработки сульфитных щелоков.



### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ДЕСУЛЬФИТАЦИЮ СУЛЬФИТНОГО ЩЕЛОКА В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Установлено, что основным фактором, влияющим на процесс десульфитации сульфитного щелока в процессе перещелачивания, является расход щелочного реагента.

Ключевые слова: сульфитный щелок, карбонилгидросульфитные соединения, щелочные реагенты, десульфитация.

Основным этапом подготовки сульфитного щелока (СЩ) к биохимической переработке является стадия десульфитации, на которой происходит удаление диоксида серы и разрушение карбонилгидросульфитных соединений (КГС) сахаров [3]. В классической технологии десульфитации используются способы, основанные на физических методах удаления  $\text{SO}_2$ , такие как продувка паром и продувка воздухом. Но для щелоков с высоким содержанием сернистых соединений более перспективно использование химических реагентов [3]. Нами был разработан способ подготовки СЩ методом перещелачивания. Сущность его заключается в нейтрализации щелока щелочным реагентом до рН 8,5 ... 9,5 и последующем выдерживании в течение заданного времени.

Цель нашей работы – на основе планирования эксперимента получить уравнения регрессии, связывающие степень десульфитации щелока с основными факторами процесса перещелачивания, а по ним оценить степень влияния этих факторов и выявить режимы, обеспечивающие наилучшую подготовку СЩ перед биохимической переработкой.

Для реализации ортогонального плана Коно второго порядка [1] в качестве переменных были выбраны четыре фактора: температура ( $X_1$ ), продолжительность обработки ( $X_2$ ), расход щелочного реагента ( $X_3$ ) и концентрация сухих веществ (СВ) в СЩ ( $X_4$ ).

В исследовании использовали СЩ Котласского ЦБК после варки вискозной целлюлозы с кислотой на натриевом основании.

Плотность щелока может изменяться в широких пределах в зависимости от используемого промывного оборудования. В данной работе различную концентрацию СВ получали разбавлением исходного щелока водой. Интервалы варьирования таких факторов, как температура и продолжительность обработки, выбирали исходя из конкретных условий производства. Нижний предел температуры был принят 30 °С, так как биохимические процессы при ферментации дрожжей протекают в интервале 30 ... 38 °С, верхний – 90 °С – примерно соответствует температуре щелока, поступающего в биохимический цех. Продолжительность обработки зависит от объема сборника, но, как правило, бывает не менее 1 ч, поэтому был принят интервал варьирования от 1 до 5 ч.

Предварительные опыты со щелоками различных предприятий показали, что, кроме аммиачной воды (25 %-й раствор аммиака), в качестве реагента для перещелачивания может быть использован раствор гидроксида натрия [4]. Интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Факторы процесса перещелачивания при подготовке СЩ

Код	Температура, °С	Продолжительность, ч	Расход щелочного реагента, мл/л		Концентрация СВ, %
			Аммиачная вода	Гидроксид натрия	
+ 1	30	1	20	10	2,8
0	60	3	40	30	6,9
- 1	90	5	60	50	11,0

В каждой точке планирования проводили две серии параллельных опытов. В обработанных пробах щелока определяли содержание суммы соединений  $SO_2$ , начальное и конечное значение pH, содержание общих редуцирующих веществ (РВ), кислотность или щелочность. Величину щелочности выражали в мг-экв/л, что соответствует 1 мл 0,1 н раствора серной кислоты, израсходованной на титрование 100 мл исследуемого щелока с индикатором Андерсена. Расход щелочных реагентов задавали в мл/л СЩ. С учетом концентрации активного вещества в реагенте 1 мл аммиачной воды способен нейтрализовать 6,5 мг-экв 0,1 н раствора серной кислоты, 1 мл 5 %-го раствора NaOH – 1,4 мг-экв 0,1 н раствора  $H_2SO_4$ .

Так как в эксперименте использовали пробы щелока трех разных концентраций, прямое сравнение некоторых их показателей оказалось невозможным, поэтому был предложен другой подход. Определяли разницу между начальными и конечными значениями, например, таких параметров,

Таблица 2

**Матрица планирования эксперимента и результаты ее реализации  
при подготовке СЩ с использованием аммиачной воды и раствора NaOH**

Номер опыта	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	Аммиачная вода			Раствор NaOH		
					$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	-	-	-	-	0,000	9	38	0,02	12	4
2	+	-	-	-	0,010	6	43	0,11	11	50
3	-	+	-	-	0,010	10	50	0,06	4	16
4	+	+	-	-	0,035	9	50	0,31	22	75
5	-	-	+	-	0,035	15	61	0,38	5	10
6	+	-	+	-	0,005	30	64	0,80	66	53
7	-	+	+	-	0,040	21	54	0,18	8	11
8	+	+	+	-	0,290	80	61	0,36	76	68
9	-	-	-	+	0,005	5	6	0,38	4	11
10	+	-	-	+	0,245	9	12	0,38	6	3
11	-	+	-	+	0,085	12	6	0,22	2	5
12	+	+	-	+	0,195	23	9	0,40	7	8
13	-	-	+	+	0,150	30	62	0,44	12	13
14	+	-	+	+	0,090	38	66	0,54	9	31
15	-	+	+	+	0,090	38	64	0,20	16	19
16	+	+	+	+	0,660	55	72	0,91	36	76
17	-	0	0	0	0,080	26	64	0,30	9	18
18	+	0	0	0	0,040	35	67	0,52	22	72
19	0	-	0	0	0,090	20	64	0,04	11	18
20	0	+	0	0	0,115	25	64	0,30	15	41
21	0	0	-	0	0,165	9	14	0,10	4	4
22	0	0	+	0	0,255	44	73	0,56	30	46
23	0	0	0	-	0,020	22	73	0,52	41	44
24	0	0	0	+	0,265	30	36	0,46	16	13

как содержание общих РВ и щелочность. В результате были получены следующие выходные параметры: убыль РВ ( $Y_1$ ), %; расход щелочного реагента в процессе обработки ( $Y_2$ ), мг-экв/л; степень десульфитации ( $Y_3$ ), %. Последнюю определяли по сумме соединений  $SO_2$  до и после подготовки. Средние по двум сериям значения этих параметров при обработке щелока аммиачной водой и раствором NaOH представлены в табл. 2.

Для расчетов уравнений регрессии использовали программу [7], которая позволяет оценивать коэффициент корреляции и относительную погрешность в зависимости от формы поверхности отклика. Уравнения регрессии вида  $y = f(x)$ , включающие только значимые коэффициенты, для всех выходных параметров при обработке СЩ аммиачной водой (верхний индекс – а.в) и раствором гидроксида натрия (NaOH) представлены ниже:

$$y_1^{\text{а.в}} = 0,07x_1 + 0,05x_2 + 0,06x_3 + 0,08x_4 - 0,12x_1^2 + 0,11x_3^2 + 0,05x_1x_2 + 0,03x_1x_3 + 0,04x_1x_4 + 0,05x_2x_3;$$

$$y_2^{\hat{a}\hat{a}} = 28,00 + 6,56x_1 + 4,33x_2 + 14,94x_3 + 2,44x_4 - 5,06x_2^2 + 2,13x_1x_2 + 6,25x_1x_3 - 3,88x_1x_4 + 3,25x_2x_3;$$

$$y_3^{\hat{a}\hat{a}} = 61,00 + 2,50x_1 + 17,50x_3 - 8,22x_4 + 6,45x_1^2 - 15,56x_3^2 - 6,05x_4^2 - 1,69x_2x_3 + 11,94x_3x_4;$$

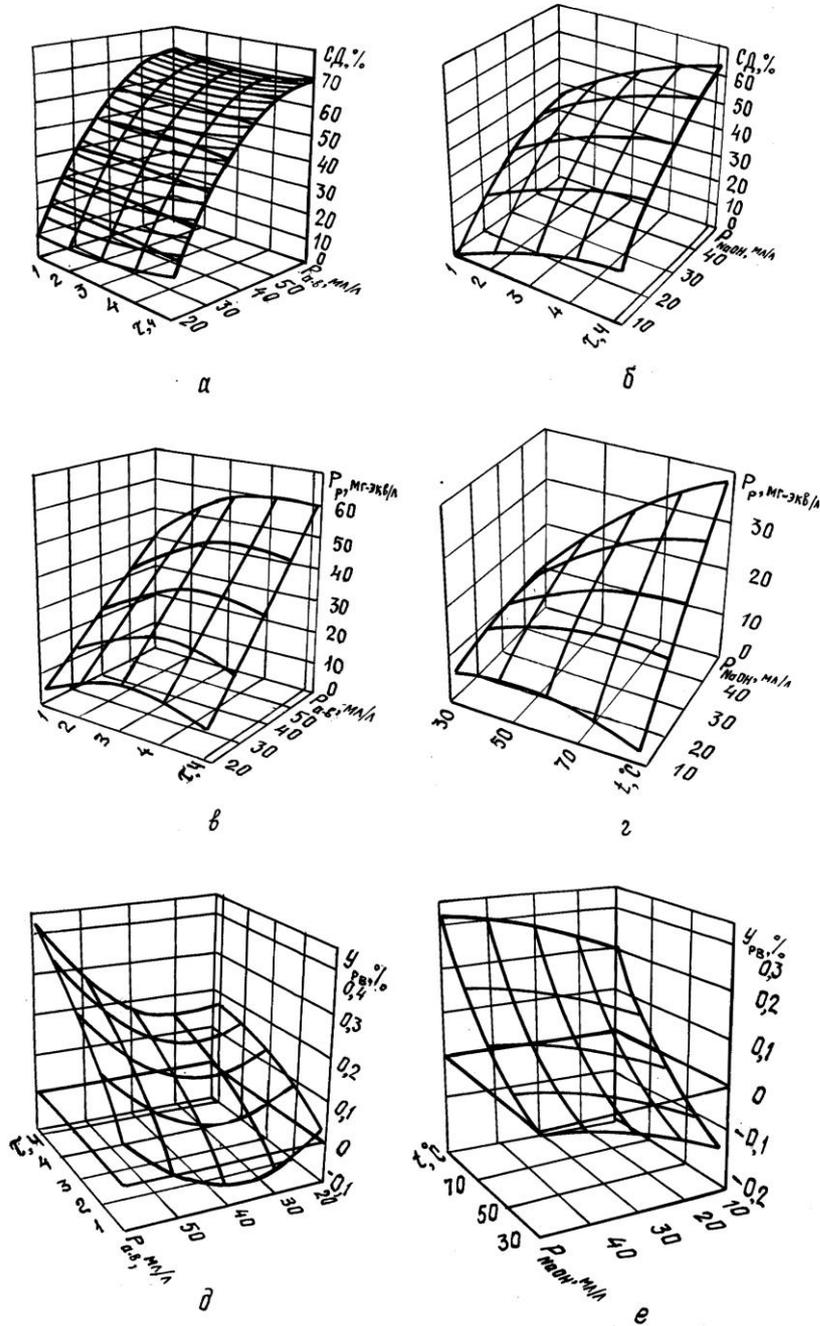
$$y_1^{\text{NaOH}} = 0,12x_1 + 0,13x_3 + 0,07x_4 + 0,06x_1^2 - 0,18x_2^2 + 0,14x_4^2 + 0,04x_1x_2;$$

$$y_2^{\text{NaOH}} = 18,00 + 10,17x_1 + 2,78x_2 + 10,33x_3 - 7,61x_4 - 3,40x_1^2 - 5,90x_2^2 + 9,61x_4^2 + 3,25x_1x_2 + 7,63x_1x_3 - 7,63x_1x_4 + 2,63x_2x_3 - 3,25x_3x_4;$$

$$y_3^{\text{NaOH}} = 33,00 + 18,28x_1 + 7,00x_2 + 8,39x_3 - 8,44x_4 + 10,79x_1^2 - 9,21x_3^2 - 5,71x_4^2 + 4,81x_1x_2 + 4,69x_1x_3 - 8,44x_1x_4 + 1,94x_2x_3 + 7,19x_3x_4.$$

Из представленных уравнений регрессии и построенных поверхностей отклика (см. рисунок, *a* и *б*) видно, что на удаление соединений  $\text{SO}_2$  основное влияние оказывает расход щелочного реагента, а температура и продолжительность обработки в близких к производственным условиям имеют гораздо меньшее значение.

При использовании аммиачной воды степень десульфитации при достаточно мягких режимах обработки достигает значительной величины – 36 ... 43 %. Для разбавленного щелока этот показатель в одинаковых условиях перещелачивания заметно выше, чем для крепкого щелока. Это связано с относительно большим расходом щелочного реагента по отношению к сумме соединений  $\text{SO}_2$ . При среднем расходе аммиачной воды и средней концентрации щелока степень десульфитации находится на уровне 64 ... 67 %. Для крепкого щелока расход аммиачной воды в количестве 20 мл/л оказывается недостаточным, и степень десульфитации составляет



Поверхности отклика для степени десульфитации  $CD$  (*a*, *б*), расхода реагента на обработку  $P_p$  (*в*, *г*) и убыли  $PB$   $U_{PB}$  (*д*, *е*) от продолжительности обработки  $\tau$  (*a* – *в*, *д*), температуры  $t$  (*г*, *е*), расходов аммиачной воды  $P_{амч}$  (*a*, *в*, *д*) и гидроксида натрия  $P_{NaOH}$  (*б*, *г*, *е*)

10 ... 12 %, но с повышением расхода реагента в 3 раза возрастает до 62 ... 72 % (см. рисунок, *а*).

При использовании раствора NaOH отмечено несколько меньшее потребление реагента на стадии обработки, а степень десульфитации была ниже, чем при использовании аммиачной воды (в среднем 30 против 49 %). Для крепкого щелока при температуре 30 °С степень десульфитации составляет около 10 %, при  $t = 90$  °С – около 40 % (см. рисунок, *б*).

При переводе рН сульфитного щелока в щелочную область основные изменения происходят с КГС сахаров, сахарами, соединениями SO<sub>2</sub> и альдоновыми кислотами.

Механизм десульфитации в условиях процесса перещелачивания СЩ можно представить следующим образом.

На первом этапе добавление к СЩ аммиачной воды или раствора NaOH ведет к нейтрализации и разрушению КГС, определяемых в СЩ как легкоотщепляемый SO<sub>2</sub>. Эти соединения представляют собой α-окисульфоновые кислоты, быстрое увеличение рН нарушает их стабильность. Наименее устойчивы КГС сахаров, которые существуют только в зоне рН 3,0 ... 6,5. Для этих соединений первый этап завершается образованием сульфита, происходит освобождение сахаров, что делает их легко доступными для последующих биохимических процессов [5].

Однако в процессе перещелачивания полного исчезновения легкоотщепляемого SO<sub>2</sub> не происходит, так как некоторые несахарные КГС устойчивы в достаточно широком диапазоне рН (до 9 и выше) [5].

На втором этапе при выдерживании СЩ в слабощелочной среде идут реакции разрушения сульфитов натрия или аммония. Известно, что в разбавленных растворах эти вещества легко окисляются. Несомненно, что десульфитация щелока в процессе перещелачивания, по крайней мере частично, также происходит в результате окисления сульфита до сульфата, о чем свидетельствует увеличение содержания последнего в щелоке после обработки. Различные вещества СЩ могут являться как ингибиторами, так и катализаторами этой реакции. В частности, сахара тормозят процесс окисления сульфита за счет образования с ним комплексов [6]. Поэтому полного удаления сульфита при перещелачивании не достигается.

В целом закономерности процесса десульфитации остаются общими при использовании для перещелачивания как аммиачной воды, так и гидроксида натрия. Выбор реагента должен определяться с учетом его стоимости и влияния на качество лигносульфонатов, технологии дальнейшей утилизации щелока.

При выдерживании СЩ в процессе перещелачивания происходит снижение первоначального значения рН. Это связано с накоплением кислых продуктов реакции (таких как сульфат) при окислении сульфита, а также с образованием в преобладающем количестве открытоцепной формы альдоновых кислот, что связано с интенсивным раскрытием их лактонов [2].

Ранее было показано [2], что последний процесс сопровождается резким уменьшением рН раствора, например, с 7,6 ... 8,0 до 5,0 ... 5,5. Следует отметить, что данное преобразование весьма благоприятно для последующей биохимической переработки, так как альдоновые кислоты ассимилируются дрожжами только в кислотной форме.

Расход щелочного реагента на эти и другие подобные реакции можно определить по убыли щелочности СЩ до и после обработки. В большинстве опытов на процесс десульфитации расходуется от 10 до 25 мг-экв аммиачной воды на 1 л щелока. В жестких условиях обработки, при высокой температуре и большой продолжительности, расход аммиака увеличивается до 33 ... 44 мг-экв/л, а при самых жестких режимах (опыты 8 и 16) – соответственно до 55 и 80 мг-экв/л.

При обработке СЩ раствором NaOH расход на десульфитацию в среднем составляет 19 мг-экв/л. При обработке щелока аммиачной водой расход реагента больше, что, вероятно, связано с вторичными реакциями соединений азота, также приводящими к образованию кислых продуктов реакции [5].

Обработка аммиачной водой по методу перещелачивания незначительно влияет на содержание общих РВ при продолжительности обработки щелока в течение 1 ... 3 ч. Однако, как видно из данных табл. 2, убыль РВ в отдельных опытах достигала 0,20 ... 0,30 % (опыты 8, 10, 12, 22, 24). В этих опытах были достаточно жесткие условия обработки или по температуре, или по расходу щелочи. Самое большое снижение (на 0,60 %) произошло в опыте 16, где использовали самые высокие температуру, продолжительность и расход реагента.

Для эффективной десульфитации рекомендуются следующие режимные параметры проведения процесса перещелачивания крепкого сульфитного щелока: температура 80 ... 90 °С; продолжительность 1 ... 2 ч; расход щелочного реагента 40 ... 60 мл/л при использовании аммиачной воды и 30 ... 50 мл/л при использовании 5 %-го раствора гидроксида натрия.

В таких условиях снижение общих РВ в процессе перещелачивания не превышает 5 ... 10 % (отн.), что является вполне допустимым для щелока после подготовки. Щелок после перещелачивания имеет высокое значение рН 7 ... 8, так как основная часть щелочного реагента остается неизрасходованной. Такой щелок целесообразно смешивать с кислым потоком СЩ или барды для уменьшения рН до уровня, благоприятного для биохимической переработки.

В промышленных испытаниях способа перещелачивания на ряде предприятий был достигнут высокий выход кормовых дрожжей при высоком содержании белка даже на СЩ с большим начальным содержанием соединений SO<sub>2</sub>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданович Н.И.* Расчеты в планировании эксперимента: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во ЛТА, 1978. – 80 с.
2. *Игнатъева О.И., Яковлева И.В., Сапотницкий С.А.* Использование альдоновых кислот сульфитных щелоков для выращивания кормовых дрожжей // Бум. пром-сть. – 1979. - № 11. – С. 18–22.
3. *Новожилов Е.В., Покусаева Е.А.* Экологические проблемы технологии подготовки сульфитных щелоков к биохимической переработке и пути их решения // Поморье в Баренц регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура – 2000: Междунар. техн. конф.- Архангельск: Ин-т экол. проблем Севера УрО РАН, 2000. – С. 170.
4. *Покусаева Е.А., Новожилов Е.В., Гельфанд Е.Д.* Использование гидроксида натрия в процессе переработки сульфитных щелоков // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр./ АГТУ. – 2002. – Вып. 8. – С. 141–144.
5. *Сапотницкий С.А.* Использование сульфитных щелоков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 224 с.
6. *Сапотницкий С.А.* Совершенствование технологии сульфитных щелоков: Текст лекций. – Л., 1990. – 59 с.
7. *Хабаров Ю.Г.* Обработка результатов экспериментов и производственных испытаний по технологии целлюлозно-бумажного производства с помощью ЭВМ. Методич. указание по использованию программ. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1985. – 28 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 23.04.03

*E.A. Pokusaeva, E.V. Novozhilov*

### **Influence of Different Factors on Desulphitation of Sulphite Liquor in the Process of Superneutralization**

The alkaline agent discharge is found out to be the major factor influencing the process of desulphitation of sulphite liquor in the process of superneutralization.

УДК 543.544

*К.Г. Боголицын, Д.С. Косяков, А.Н. Шкаев, А.С. Почтовалова*

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии при АГТУ, академик МАНЭБ и РАИН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 250 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.



Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области физикохимии неводных растворов.



Шкаев Андрей Николаевич родился в 1970 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет 15 научных трудов в области исследования химии лигнинов.



## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ ФЕНОЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ СТОЧНЫХ ВОД ЦБП**

Предложено использовать метод обращенно-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографии для изучения качественного и количественного состава фенольных компонентов сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: ВЭЖХ, фенолы, сточные воды.

Современная жидкостная хроматография высокого давления – один из наиболее эффективных методов анализа и разделения сложных смесей, какими являются промышленные сточные воды. Важнейшее преимущество

этого метода по сравнению с газовой хроматографией – возможность исследования практически любых объектов без ограничений по их физико-химическим свойствам, например по температуре кипения или молекулярной массе.

Разработка методики разделения сложных многокомпонентных систем должна включать предварительные исследования со следующими основными этапами: выбор варианта высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и его аппаратного оформления, выбор сорбента и состава элюента, анализ модельных смесей и установление характеристик удерживания их компонентов.

*Выбор способа хроматографии.* В литературе описаны различные варианты хроматографического разделения фенольных соединений методом ВЭЖХ: ионообменная на анионитах и катионитах [2], эксклюзионная с использованием полужестких и жестких гелей [4], адсорбционная на силикагеле и оксиде алюминия [6], распределительная [5]. На наш взгляд, применительно к задаче анализа родственных лигнину фенолов, содержащихся в стоках ЦБП и характеризующихся близкими величинами констант ионизации и размеров молекул, могут быть реализованы только два последних метода. Как адсорбционный, так и распределительный методы должны приводить к сходным результатам, однако использование полярных сорбентов (таких как силикагель) имеет ряд недостатков, существенных для решения поставленной задачи. К ним относятся, прежде всего, высокая чувствительность к влажности образца и растворителей, крайне медленное установление равновесия при изменении состава элюента и, как следствие, худшая воспроизводимость результатов и более низкая селективность разделения по сравнению с распределительной хроматографией. Последняя применяется в настоящее время наиболее широко и использует сорбенты на основе силикагеля с привитой углеводородной фазой, полностью покрывающей их поверхность, что делает ее неполярной. Это подразумевает использование полярного элюента и разделение соединений по их полярности за счет распределения между двумя фазами в хроматографической колонке. Важнейшее преимущество данного метода – его применимость для анализа смесей близких гомологов органических соединений, в том числе фенолов [3]. В связи с этим была выбрана обращенно-фазная распределительная хроматография.

*Аппаратурное оформление.* Для экспериментов использовали серийно выпускаемые микроколоночные хроматографы «Милихром-1» (ПО «Научприбор», Россия) со шприцевым изократическим насосом (объем 2500 мкл), оснащенным шаговым двигателем, который обеспечивает максимальное давление в хроматографической системе 10 МПа, и спектрофотометрическим УФ-детектором. Применение других детекторов нецелесообразно, поскольку все фенолы характеризуются интенсивным поглощением в области 200 ... 300 нм. Разделение осуществляли в стальной промышленно изготовленной аналитической колонке КАХ-2 (длина 62 мм, внутренний

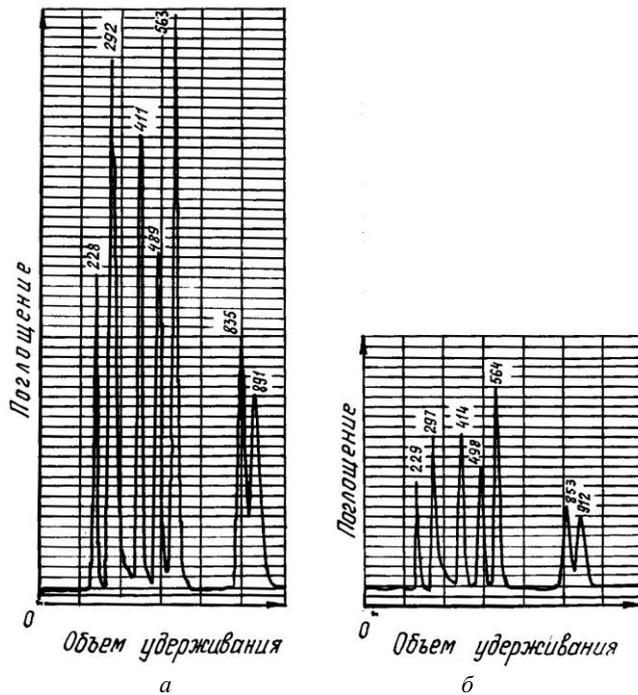
диаметр 2 мм). Регистрацию хроматограмм проводили на малоинерционном линейном самописце TZ («Laboratorní přístroje», Чехия).

*Выбор сорбента и элюента.* В колонке в качестве сорбента использовали обращенно-фазный Сепарон-С18 с октадецильной привитой фазой и размером зерен 5 мкм, что обеспечивает эффективность разделения на уровне 2 – 4 тыс. теоретических тарелок. По литературным данным [1], основными системами растворителей для проведения анализов на таких сорбентах являются водные растворы метанола или ацетонитрила, отличающиеся невысокой вязкостью и возможностью варьирования элюирующей силы в весьма широких пределах. По соображениям доступности и безопасности была выбрана система ацетонитрил – вода. Для подавления процессов диссоциации наиболее кислых фенолов в полярном растворителе и размывания хроматографических пиков использовали 1 %-ую уксусную кислоту. Для приготовления элюента применяли дистиллированную воду и ацетонитрил марки «для ВЭЖХ» с поглощением сантиметрового слоя при 200 нм не выше 0,08 ед. оптической плотности. Предварительные эксперименты показали, что при концентрациях ацетонитрила в элюенте выше 30 % (масс.) его элюирующая сила оказывается слишком большой для достижения удовлетворительной селективности разделения (наиболее полярные фенолы совместно покидают колонку вместе с фронтом растворителя). Однако достижение высокой селективности разделения за счет снижения концентрации органического соразтворителя ниже 20 % (масс.) ведет к нерациональному увеличению объемов удерживания хроматографируемых соединений (больше рабочего объема насоса), что усложняет методику и снижает эффективность за счет большего размывания хроматографических зон. В связи с этим предложен оптимальный состав элюента: 25 %-й раствор ацетонитрила в 1 %-й уксусной кислоте.

*Хроматография модельных смесей.* На основе анализа литературных данных в качестве фенольных соединений, моделирующих состав фенольной фракции сточных вод ЦБП, были выбраны следующие вещества: гидрохинон (I), ванилиновый спирт (II), пирокатехин (III), ванилин (IV), ацетованилон (V), фенол (VI), гваякол (VII), 2,6-диметоксифенол (VIII), *m*-крезол (IX), *o*-крезол (X) и крезол (XI).

Для проведения хроматографии в колонку вводили пробу объемом от 1 до 4 мкл с содержанием указанных фенолов 0,05 ... 0,30 % (масс.), растворенную в смешанном растворителе ацетонитрил – вода. Разделение проводили при скорости потока 50 мкл/мин в изократическом режиме, детектирование – по длинам волн 280 и 220 нм.

На рисунке представлены хроматограммы сложной смеси семи модельных фенолов для разных объемов вводимой пробы. Параллельные опыты демонстрируют хорошую воспроизводимость результатов – отклонение в положении хроматографических пиков не превышает 10 мкл в диапазоне температур 15 ... 25 °С.



Хроматограммы смеси фенолов II, III, IV, VI, VII, IX, X, расположенные (слева направо) в порядке возрастания удерживания (скорость разверстки – 167 мкл на 1 деление; масштаб по вертикали – 0,064 ед. плотности на 1 деление; длина волны – 280 нм):  
*а* – объем пробы 3 мкл; *б* – 1 мкл

По полученным данным рассчитаны характеристики удерживания (объем удерживания  $V_{уд}$ , полуширина пика  $W_{1/2}$ ), эффективности (число теоретических тарелок  $N$  для каждого соединения), селективности  $\alpha$  и разрешения  $R_s$  (для соседних пиков), представленные в табл. 1.

Таблица 1

Параметры разделения модельной смеси фенолов

Вещество	$V_{уд}$ , мкл	$W_{1/2}$ , мкл	$N$	$R_s$	$\alpha$
I	217	8,5	3600	–	–
II	229	16,5	1100	0,48	1,32
III	292	21,0	1100	1,68	2,29
IV	412	25,0	1500	2,61	2,07
V	451	25,0	1800	0,78	1,17
VI	500	25,0	2200	0,98	1,18
VII	563	29,0	2100	1,17	1,20
VIII	635	31,0	2300	1,20	1,19
IX	850	33,5	3600	3,34	1,47
X	917	41,5	2700	0,89	1,10
XI	967	41,5	3000	0,60	1,07

Таблица 2

Пределы обнаружения фенолов при детектировании для  $\lambda = 280$  нм

Вещество	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Предел обнаружения, мкг	0,10	0,10	0,20	0,04	0,05	0,25	0,14	0,20	0,20	0,30	0,16

Расчеты на основе полученных данных показывают линейную зависимость как интенсивности хроматографических пиков, так и их интегральной интенсивности (определяемой по площади пика) от количества вводимого образца, что позволяет с высокой точностью проводить количественные определения. Нами рассчитаны пределы обнаружения исследуемых фенолов на основе определенных интенсивностей поглощения при 280 нм и параметров чувствительности хроматографа (табл. 2).

Поскольку поглощение большинства ароматических соединений при 220 нм значительно выше, чем при 280 нм, переход на более коротковолновое детектирование позволяет повысить чувствительность метода в среднем в 2 раза. Полученные результаты свидетельствуют о линейной зависимости интенсивности пиков от количества вещества при переходе к другой волне.

За 2001 г. по разработанной нами методике проанализировано 55 проб фракций летучих фенолов сточных вод Архангельского ЦБК. При подготовке к анализу исходную пробу перегоняли (на 1/2 с рассеивающего потока и на 3/4 с усреднителя и третьей очереди сульфатного производства), отгон подкисляли и экстрагировали диэтиловым эфиром. После экстракции эфир отгоняли, полученный остаток растворяли в 100 мкл 25 %-го водного раствора ацетонитрила. Аликвотную часть полученной пробы объемом 10 мкл (для рассеивающего потока) или 5 мкл (для усреднителя и локальных стоков третьей очереди) вводили в хроматографическую колонку. Определение вели в изократическом режиме при постоянной температуре колонки 25 °С, поддерживаемой жидкостным термостатом. Хроматографические пики детектировали по поглощению ультрафиолетового излучения с длиной волны 280 нм, полученные хроматограммы регистрировали при помощи самописца. Скорость потока элюента составляла 50 мкл/мин.

Пики идентифицировали по объемам удерживания, которые получены путем анализа модельных смесей фенолов, родственных лигнину (фенол, гваякол, креозол, 2,6-диметоксифенол, ванилин, ванилиновый спирт, гидрохинон, пирокатехин, ацетованилон, *o*-крезол, *l*-крезол). Количественный анализ проводили по высотам пиков с использованием определенных нами ранее коэффициентов пересчета оптической плотности в массу соединения (индивидуальный для каждого компонента). На рисунке представлена типичная хроматограмма анализируемой пробы. Хроматограммы показывают достаточно хорошее разделение пиков и высокую эффективность системы при выбранных условиях анализа (рассчитанная эффективность колонки для приведенных данных составляла не менее 2000 теоретических тарелок). Обобщенные данные для проб с рассеивающего потока представлены в табл. 3, с усреднителя – в табл. 4.

Таблица 3

## Обобщенные данные для проб с рассеивающего потока

Вещество	Концентрация вещества в исходной пробе, мкг/л												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	–	–	–	–	–	–	0,92	0,85	–	1,64	0,62	0,88	1,24
II	0,55	0,62	0,62	0,66	0,59	0,54	1,24	–	0,39	–	–	–	0,80
III	–	–	–	–	–	–	0,42	0,17	0,22	1,24	0,56	1,18	0,90
IV	–	0,17	0,13	0,14	–	–	0,11	0,06	0,07	0,28	–	0,24	0,52
V	0,44	0,27	0,29	0,32	0,38	0,44	0,21	0,15	0,06	0,22	0,20	0,44	0,20
VI	1,56	–	–	–	–	–	1,49	1,17	0,69	2,00	1,20	1,60	2,00
VII	0,63	0,41	0,38	0,49	0,71	0,75	–	0,37	0,21	–	0,60	0,66	0,78
VIII	–	–	–	–	–	–	3,49	1,47	–	3,60	3,32	–	4,20
IX	–	–	–	–	0,90	1,66	0,96	0,37	–	0,98	–	0,98	–
X	–	–	0,85	–	1,37	2,99	2,05	–	0,63	–	–	–	0,63
XI	–	–	–	–	–	–	–	1,16	–	0,70	–	–	–

Таблица 4

## Обобщенные данные для проб с усреднителя

Вещество	Концентрация вещества в исходной пробе, мкг/л												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	1,25	–	1,28	1,70	–	–	1,07	–	–	3,61	0,82	0,68	0,57
II	–	0,41	–	–	–	0,65	0,99	0,54	0,67	2,73	0,54	–	–
III	–	–	–	1,43	–	–	–	–	–	2,44	0,50	0,50	0,75
IV	0,17	0,13	0,28	–	–	–	–	0,31	0,12	0,55	0,28	0,06	0,28
V	0,29	0,23	1,15	0,40	0,38	0,15	0,61	0,44	–	–	0,30	0,20	–
VI	1,83	0,81	3,76	2,13	1,79	0,89	7,91	2,29	3,76	4,01	1,20	2,00	2,39
VII	2,55	1,64	13,6	2,27	3,16	0,20	2,38	2,34	0,79	–	0,52	0,52	0,52
VIII	–	6,79	9,05	3,60	4,86	–	–	–	–	–	–	–	2,13
IX	1,24	0,66	1,83	–	–	1,33	8,30	–	–	–	1,30	1,62	–
X	–	–	–	–	–	1,39	–	–	–	–	–	–	1,09
XI	1,90	0,83	1,84	–	–	–	1,19	1,11	–	–	–	0,94	0,98

Табл. 5 содержит общие данные для локальных стоков третьей очереди. Номера проб в табл. 3–5 (с 1 по 13) соответствуют разным точкам и дням отбора. Как видно из табл. 3–5, в пробах присутствует большое число фенольных компонентов (как правило 12–16), при этом значительная их часть не поддается идентификации, представляя собой, возможно, продукты окисления либо продукты окислительной радикальной димеризации исходных структурных единиц лигнина. Наибольшая доля присутствующих в исследуемых стоках фенольных соединений приходится на фенол, гваякол, 2,6-диметоксифенол и ацетованилон. При этом их соотношение меняется в достаточно широких пределах в зависимости как от времени отбора, так и от вида изучаемого потока. Так, в рассеивающем потоке понижены концентрации всех указанных соединений, за исключением ацетованилона, который, по всей видимости, образуется при окислительной деградации других фенольных структур в процессах биологической очистки.

Влияние технологического режима на состав сточных вод отчетливо прослеживается на образцах, полученных с локальных стоков третьей

Таблица 5

Веще- ство	Концентрация вещества в исходной пробе, мкг/л												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	1,56	0,87	–	–	–	–	–	–	1,36	2,48	–	1,62	0,85
II	–	–	–	–	–	–	0,94	1,21	–	2,72	0,68	–	–
III	–	–	–	–	–	–	–	1,86	–	3,00	0,50	1,12	0,60
IV	0,36	0,20	–	0,37	–	–	0,40	0,34	0,11	0,70	0,40	0,40	1,00
V	0,93	0,32	3,45	–	0,26	0,41	0,57	0,46	2,73	0,59	–	0,22	–
VI	4,37	1,62	2,44	5,67	–	3,58	5,97	6,19	2,09	10,0	1,60	2,40	–
VII	4,19	0,60	1,17	2,25	0,53	1,64	17,4	7,96	1,64	–	–	–	0,78
VIII	16,9	4,04	8,62	10,8	2,70	7,20	–	–	–	6,50	3,60	5,76	2,88
IX	0,83	–	–	–	0,81	–	0,56	1,08	–	0,64	1,30	1,30	–
X	–	–	2,27	1,81	2,27	–	–	–	–	–	–	–	0,48
XI	1,31	0,71	–	–	–	–	–	–	–	0,47	0,70	0,70	–

очереди сульфатного производства. Преобладание лиственного сырья приводит к повышенному содержанию 2,6-диметоксифенола по сравнению с гваяколом, что легко объяснимо, поскольку лиственные лигнины построены из синрингильных структур, родоначальником которых и является VIII.

В табл. 5 данное положение иллюстрируют результаты анализов проб 4 (преобладание лиственного сырья) и 5 (преимущественно хвойное сырье). Сточные воды, прошедшие биологическую очистку (рассеивающий поток), характеризуются пониженным содержанием фенольных компонентов, особенно это касается фенола и гваякола. Использование бесхлорного режима отбели (пробы 2 и 3) приводит к значительному понижению концентрации фенола и гваякола во всех исследованных потоках сточных вод, практически не влияя на концентрацию 2,6-диметоксифенола.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокоэффективная жидкостная хроматография в биохимии / Пер. с англ. под ред. А. Хеншен. – М.: Мир, 1988. – 688 с.
2. Лабораторное руководство по хроматографическим и смежным методам / Под ред. О. Микеша. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 400 с.
3. Стыскин Е.Л., Ицксон Л.Б., Брауде Е.В. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография. – М.: Химия, 1986. – 288 с.
4. Хроматографический анализ в химии древесины / Под ред. В.Н. Сергеевой. – Рига: Зинатне, 1975. – 353 с.
5. Энгельгард Х. Высокоэффективная жидкостная хроматография. – М.: Мир, 1979. – 347 с.
6. Muller H., Engelgardt H., Molnar I. Practical aspects of modern HPLC. – Berlin, 1982. – 254 p.

Архангельский государственный  
технический университет  
Поступила 1.10.02

*K.G. Bogolitsyn, D.R. Kosyakov, A.N. Shkaev, A.S. Pochtvalova*  
**High-performance Liquid Chromatography of Phenolic Components  
of PPI Effluents**

A method of high-performance inverted-phase liquid chromatography has been suggested for use to study qualitative and quantitative composition of phenolic components of effluents of pulp-and-paper industry.



УДК 330.11.62

*А.Ю. Харитонов, А.В. Пластинин*

Харитонов Алексей Юрьевич родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, генеральный директор ОАО «Научдревпром-ЦНИИМОД», аспирант кафедры менеджмента Архангельского государственного технического университета. Имеет 3 печатные работы в области экономики лесного комплекса.



Пластинин Александр Викторович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента Института экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 60 печатных работ в области экономики лесного комплекса.



### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ БИЗНЕСА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Приведены результаты исследования метода реальных опционов в целях использования для оценки стоимости предприятий лесной отрасли.

Ключевые слова: реальный опцион, оценка бизнеса, дюрация, мажоритарный, миноритарный пакет.

Каждый собственник рано или поздно сталкивается с проблемой оценки своего бизнеса. Не зная стоимости компании, почти невозможно принимать взвешенные решения по реализации прав собственника.

Ведущими западными фирмами в области управленческого консалтинга уже более 10 лет активно используются на практике методы менеджмента, которые среди важнейших критериев успешности управленческой деятельности на разных ее уровнях рассматривают достижение возможно большей рыночной добавленной стоимости предприятия или его отдельных подразделений. Указанный подход получил название менеджмента, основанного на управлении стоимостью, или VBM-менеджмента. Здесь используется интегрированный финансовый показатель – стоимость компании. Как показывает практика, ее увеличение для акционеров не противоречит инте-

ресам других заинтересованных сторон. Успешно действующие компании создают больше стоимости для всех участников экономической среды – потребителей, работников, государства (через выплачиваемые налоги) и инвесторов. На сегодняшний день стоимость – лучшая из общеизвестных оценок результатов деятельности; основным индикатором успешной работы предприятия является рост его стоимости.

До сих пор в России, когда речь заходит о стоимости той или иной компании, наибольшее доверие у многих вызывает оценка, полученная расчетом чистых активов фирмы – разницы между общей стоимостью активов и общей суммой обязательств. На вопрос о выборе подходов к оценке акций и активов большинство называет затратный, сравнительный и доходный, в рамках которых существует множество различных методов.

Каждый из стандартных методов оценки имеет свои недостатки.

При использовании затратного подхода нередко возникает парадоксальная ситуация, когда акции компании котируются на бирже или продаются на внебиржевом рынке, хотя при этом стоимость компании, полученная методом чистых активов, отрицательна. Итогом оценки оказывается не стоимость действующего бизнеса с учетом будущих ожиданий, а суммарная стоимость составляющих имущественного комплекса. Кроме того, оценка сильно зависит от достоверности консолидированной отчетности.

Стандартный метод дисконтирования денежных потоков не дает рекомендаций по действиям руководства, не учитывает возможности изменения плана действий. Кроме того, в условиях продолжающейся экономической и политической нестабильности прогнозирование на более или менее длительный период субъективно, что заставляет с подозрением относиться к оценке, полученной этим методом.

При использовании сравнительного метода результат оценки полностью зависит от возможности найти сопоставимые компании и провести корректное сравнение.

В конце 90-х гг. XX в. в практике оценки стоимости акций и бизнеса предприятий стал применяться метод реальных опционов. Он получил широкое распространение в зарубежной практике оценки, и мы считаем его актуальным для Архангельской области как региона, в котором бюджетообразующими являются добывающие отрасли – лесная и нефтяная.

Еще в 1973 г. Ф. Блэк (Black) и М. Шоулз (Scholes) разработали формулу для определения стоимости опциона [1, 6]:

$$\text{Колл-опцион} = PN(d_1) - EX \exp(-rt)N(d_2),$$

где

$$d_1 = \left[ \ln \left( \frac{P}{EX} \right) + \left( r + \frac{\sigma^2}{2} \right) t \right] : \left( \sigma t^{0,5} \right);$$

$$d_2 = d_1 - \sigma t^{0,5};$$

$N(d_1)$ ,  $N(d_2)$  – кумулятивная нормальная вероятность функции плотности;

$P$  – цена акции;

$EX$  – цена исполнения;

$r$  – безрисковая процентная ставка;  
 $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  
 $t$  – период до исполнения опциона.

Опцион на покупку (колл-опцион) дает право его владельцу приобрести акции (или любые другие активы) по заранее оговоренной цене в определенный период времени.

В октябре 1997 г. Р. Мертоны и М. Шоулзу была присуждена Нобелевская премия по экономике. Комитет по назначению лауреатов выдвинул для присуждения премии еще одного ученого, Ф. Блэка, но преждевременная смерть в 1995 г. помешала ему разделить оказанную честь. Эти три человека считаются создателями математической формулы для вычисления стоимости опционов и других производных инструментов, которая сыграла огромную роль в развитии теории и практики финансов. Опубликование формулы Блэка – Шоулза в 1973 г. позволило отойти от субъективно-интуитивных оценок при определении цены опционов и подвести под него теоретическую базу, применимую и к другим производным инструментам.

Теория опционов первоначально использовалась только для операций с ценными бумагами, однако позднее стала находить применение и в реальной экономике, так как многие процессы в бизнесе можно представить с помощью опционов. Например, если компания берет банковский кредит или выпускает облигационный заем, она фактически продает активы кредиторам, имея при этом колл-опцион на их выкуп (по цене основного долга с процентами). Если к моменту погашения займа стоимость активов превысит обязательства, компания погасит долг; в противном случае она предпочтет не исполнять опцион и подвергнуться процедуре банкротства.

Изложенный подход используется и при оценке бизнеса [3, 4]. В этом случае в формуле Блэка – Шоулза  $P$  – текущая стоимость активов компании;  $EX$  – номинальная стоимость долга;  $t$  – срок погашения долга (если существует несколько форм обязательств – кредиторская задолженность, долгосрочные и краткосрочные займы, – то следует использовать средневзвешенное значение их дюрации), представленного в виде бескупонной облигации со сроком погашения  $t$ ;  $r$  – непрерывно начисляемая безрисковая процентная ставка, соответствующая сроку погашения долга. В практике оценки эта ставка принимается равной доходности государственных облигаций или депозитов Сбербанка России. Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  (дисперсия стоимости активов) характеризует риск рассматриваемого бизнеса. В странах с развитым фондовым рынком определение  $\sigma$  не вызывает особых затруднений, так как в средствах массовой информации регулярно появляются показатели, характеризующие риск различных компаний и отраслей. В российской практике оценки рекомендуется принимать  $\sigma = 35 \dots 45 \%$  [4].

Модель Блэка – Шоулза в наилучшей степени подходит для компаний:

испытывающих финансовые проблемы и имеющих большую вероятность банкротства;  
с ограниченным количеством непогашенных обязательств;  
для которых дисперсия стоимости активов может быть получена с приемлемой точностью.

Однако эта модель имеет и определенные ограничения, недостатки: одним из входных параметров является текущая стоимость активов компании;

чувствительна к оценкам (предположениям) дисперсии стоимости активов компании;

может преувеличивать стоимость бизнеса компании (собственный капитал), когда оценивается компания с большим количеством долговых обязательств, имеющих различные купоны (доходность) и сроки погашения.

Достоинство модели Блэка – Шоулза заключается в том, что собственный капитал имеет стоимость, даже если стоимость компании меньше номинальной стоимости долга. Такие компании рассматриваются инвесторами, бухгалтерами и аналитиками как проблемные, но это не означает, что собственный капитал ничего не стоит, хотя при использовании метода чистых активов он и получается отрицательным.

Рассмотрим условный пример, подтверждающий сказанное. Исходные данные для оценки стоимости бизнеса: стоимость активов компании  $P = 70$  млн долларов; номинальная стоимость долга  $EX = 100$  млн долларов; дюрация долга  $t = 1$  год; безрисковая процентная ставка, соответствующая дюрации,  $r = 12,5\%$ ; среднее квадратическое отклонение стоимости бизнеса  $\sigma = 45\%$ . Подставив эти данные в формулу Блэка – Шоулза, получим  $d_1 = -0,2898$ ,  $d_2 = -0,7398$ ;  $N(d_1) = 0,3860$ ,  $N(d_2) = 0,2297$ . Соответственно стоимость бизнеса компании равна 6,7 млн долларов.

Анализируя приведенные данные, можно сделать следующие выводы. На дату оценки долг выше стоимости имущества компании на 30 млн долларов. Если бы срок погашения обязательств наступил немедленно, компания оказалась бы банкротом, но наличие отсрочки продолжительностью 1 год позволяет надеяться на улучшение ситуации. Поэтому при заданных условиях стоимость компании равна 6,7 млн долларов.

Рассмотренный пример показывает, что каким бы плохим ни было состояние компании в данный момент, ее стоимость положительна (даже самые проигрышные опционы имеют стоимость из-за наличия временной премии, т. е. возможности того, что за оставшееся до истечения срока опциона время стоимость базового актива может возрасти выше цены исполнения). Следовательно, использование теории опционов позволяет наиболее объективно оценить компании, испытывающие финансовые проблемы.

По мнению С. Файз, которая успешно внедрила методы оценки реальных опционов в практику «Тексако», реальные опционы – это методы XXI в. [2]. Компании, которые применяют их первыми, обеспечат себе конкурентные преимущества в будущем.

Среди предприятий, успешно использующих методы опционов, можно назвать следующие [2]:

крупнейшая международная фармацевтическая фирма Merck уже много лет оценивает многомиллиардные инвестиции в разработку новых препаратов;

«Рино Тинто», английская горнодобывающая группа с годовыми продажами свыше 9 млрд фунтов осуществляет оценку шахт;

«Тексако» оценивает нефтяные месторождения, находящиеся в начальной стадии освоения, и объективно разрешает конфликт между группами руководителей относительно стратегии их дальнейшего освоения;

«Бритиш Петролеум» провела оценку и разработала стратегию освоения нефтяных месторождений в Северном море, экономическая эффективность которых в начале 90-х гг. представлялась сомнительной.

Методы оценки реальных опционов получают все большее признание среди инвесторов: банков и других финансовых институтов, в частности ЕБРР.

Для того чтобы проверить возможность практического использования описанного метода, мы провели ряд модельных расчетов и сопоставили полученные результаты с фактическими данными.

Первым примером является сделка по приобретению в октябре 2001 г. на аукционе федерального пакета акций ОАО «Соломбальский ЦБК», составляющего 20 % его уставного капитала [5]. Поскольку на аукционе происходила упорная борьба за этот пакет (его начальная цена увеличилась более чем вдвое), то можно утверждать, что данный пакет являлся ключевым в расстановке сил, и победитель фактически становился мажоритарным акционером предприятия.

В таблице приведены расчетные данные стоимости бизнеса ОАО «Соломбальский ЦБК» по состоянию на 1 июля 2001 г. (дату последнего бухгалтерского баланса).

При моделировании обязательств предприятия были использованы следующие данные: ставка дисконтирования кредиторской задолженности – 25 % годовых (ставка ЦБ); доходность к погашению краткосрочных займов и кредитов – 19; долгосрочных – 21 % годовых.

Подставив полученные данные из таблицы в формулу, получим, что стоимость ОАО «Соломбальский ЦБК» на 1 июля 2001 г., рассчитанная по формуле Блэка – Шоулза, составляла 436 707 тыс. р., или 15 023 тыс. долларов США (при курсе ЦБ 29,07 р.).

Показатель	Соломбальский ЦБК	Сыктывкарский ЛПК
Стоимость активов компании $P$ , тыс. р.	1 012 675	8 557 363
Номинальная стоимость долга $EX$ , тыс. р.	647 076	1 840 226
Дюрация долга $t$ , лет	0,600	1,098
Безрисковая ставка, соответствующая дюрации $r$ , % годовых	19,0	19,0
Среднее квадратическое отклонение стоимости бизнеса $\sigma$ , %	35	35

Сравнив полученный результат с ценой пакета акций на аукционе, можно сделать вывод, что метод реальных опционов дает объективную оценку стоимости предприятия. За приобретение 20 % акций в целях формирования мажоритарного пакета группа лиц заплатила 50 % стоимости всего предприятия.

Конечно, стоимость миноритарного пакета акций, каким является 20 %-й пакет сам по себе, определить не так просто, но в данной ситуации он фактически является мажоритарным, и тогда его стоимость может колебаться в пределах 50 ... 100 % стоимости предприятия.

Второй пример более наглядно доказывает состоятельность метода реальных опционов, так как он касается сделки по продаже мажоритарного пакета акций. Пакет 68,5 % акций ОАО «Сыктывкарский ЛПК» в марте 2002 г. приобрел лесоперерабатывающий холдинг Mondi Europe, контролируемый корпорацией Anglo-American. Сумма сделки, по словам представителя пресс-службы Anglo-American, составила 252 млн долларов США.

Исходные данные для оценки стоимости бизнеса ОАО «Сыктывкарский ЛПК» по состоянию на 1 октября 2001 г. приведены в таблице. Подставив их в формулу Блэка – Шоулза, получим, что стоимость предприятия составляла 7 064 млн р., или 240 млн долларов США (при курсе ЦБ 29,39 р.). Полученный результат достаточно точно отражает стоимость предприятия. Если за стоимость предприятия принять стоимость контрольного пакета акций, то отклонение составляет всего 5 %; вполне возможно, что эта разница является оценкой деловой репутации предприятия goodwill, которая не отражается в бухгалтерском балансе.

#### *Выводы*

Изложенный в статье метод реальных опционов, на наш взгляд, вполне приемлем для оценки бизнеса предприятий лесопромышленного комплекса, особенно лесозаготовительных, находящихся в состоянии банкротства.

Методы, связанные с дисконтированием денежных потоков, без учета ценности управления, дают заниженную оценку эффективности инвестиций. Изначально они разрабатывались для операций с акциями и облигациями. Инвесторы в эти активы вынуждены быть пассивными, так как они не могут оказать влияния на процентную ставку или дивидендные выплаты.

Владельцы опционов (в том числе реальных) и конвертируемых облигаций (их можно представить как комбинацию обычной облигации и колл-опциона на покупку акций) получают право принимать решения, направленные на использование удачного развития событий либо на уменьшение потерь при неблагоприятной ситуации. Теория опционов дает адекватную оценку этого права.

Метод реальных опционов с использованием формулы Блэка – Шоулза позволяет оценивать:

стоимость бизнеса, основываясь на бухгалтерской отчетности компании (баланса и отчета о прибылях и убытках);

месторождения полезных ископаемых;  
патенты и лицензии.  
К его преимуществам относятся:  
объективность (бизнес оценивается по текущим показателям с использованием существующей бухгалтерской отчетности);  
возможность оценивать не только успешно функционирующие фирмы, но и компании, испытывающие финансовые трудности;  
учет в стоимости компании находящихся у нее на балансе патентов и лицензий на разработку месторождений полезных ископаемых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бригхем Ю., Гапенски Л. Финансовый менеджмент. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. В.В. Ковалева. – СПб.: Экономическая школа, 1997.
2. Калинин Д. Новые методы оценки стоимости компаний и принятия инвестиционных решений // Рынок ценных бумаг. – 2000. – № 8. – С. 43–46.
3. Козырь Ю. Применение теории опционов для оценки компаний // Там же. – № 12. – С. 76–78; № 13. – С. 64–66; № 14. – С. 82–85.
4. Лапхия Д.Ю. Определение деловой репутации компании методом опционов // Финанс. газета. – 2001. – № 18.
5. СЦБК приобрел нового совладельца // Правда Севера. – 2001. – 28 нояб.
6. Тренев Н.Н. Управление финансами: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 496 с.

ОАО «Научдревпром -ЦНИИМОД»

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 13.03.03

*A.Yu.Kharitonov, A.V. Plastinin*

#### **Use of Real Options Method for Business Value Assessment of Forest-industrial Enterprises**

Study results of real options method to be used for value assessment of the forest branch enterprise are provided.

**МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ**

УДК 69.008

***О.М. Соколов, А.Л. Невзоров, Ю.А. Варфоломеев, А.Н. Федотов***

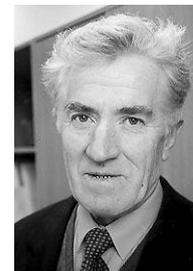
Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой биотехнологии Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА. Имеет более 170 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.



Невзоров Александр Леонидович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов, проректор по учебно-методической работе Архангельского государственного технического университета. Имеет более 120 печатных работ в области инженерной геологии и фундаментостроения.



Федотов Альберт Николаевич родился в 1937 г., окончил в 1962 г. Архангельский лесотехнический институт, доцент кафедры строительного производства, декан строительного факультета Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – исследование эксплуатационных характеристик зданий и сооружений на Севере.

**ФОРМИРОВАНИЕ В АРХАНГЕЛЬСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ДИНАСТИЙ И НАУЧНЫХ ШКОЛ\***

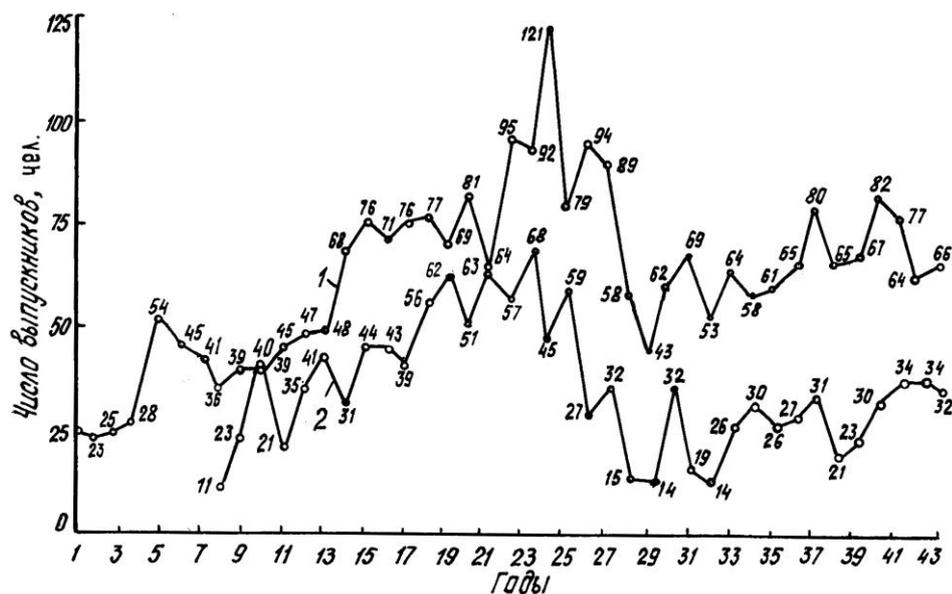
Проанализировано развитие образовательных услуг в АЛТИ–АГТУ, формирование строительных династий и научных школ по актуальным проблемам Архангельской области.

Ключевые слова: строительство, потребности области, рыночные условия, образовательные услуги, новые специальности, статистический анализ, студенты, инженеры, династии, научные школы.

---

\* Посвящается 40-летию постановления Совета Министров СССР от 28.02.63 г. № 242 «О развитии городов Архангельска и Мурманска».

Развитие производства и улучшение жизни людей невозможно обеспечить без строительства. Поэтому в Архангельском лесотехническом институте (ныне Архангельский государственный технический университет) в 1959 г. был образован строительный факультет (СФ). Подготовка инженеров по базовой специальности «Промышленное и гражданское строительство» (ПГС) началась еще в 1957 г., по специальности «Автомобильные дороги» (АД) – в 1962 г. За период с 1960 г. по 2002 г. на факультете подготовлено 3911 инженеров. Статистические показатели по выпуску инженеров строительного профиля приведены на диаграмме (см. рисунок, где цифрами с 1 по 43 обозначены годы с 1970 г. по 2002 г.; 1 – ПГС, 2 – АД).



28 февраля 1963 г. было принято постановление Совета Министров СССР № 242 «О развитии городов Архангельска и Мурманска», подписанное А.Н. Косыгиным. Решением правительства предусматривалось возвести в этих крупных внешнеторговых портах, промышленных и культурных центрах Европейского Севера большое количество жилых объектов и предприятий строительной индустрии. Развитие строительства в Архангельске стимулировало подготовку на СФ инженеров-строителей и формирование актуальных направлений научных исследований.

Для выполнения поставленных задач в составе Министерства строительства РСФСР было создано Главное управление по строительству в г. Архангельске (Главархангельскстрой). Его работникам установили должностные оклады на уровне штатного расписания отдаленного Главвладивостокстроя. Совет Министров РСФСР за счет своего бюджета оплатил в 1963 г. расходы на содержание центрального аппарата Главархангельскстроя и выделил оборотные средства, необходимые для обеспечения его нормальной работы. Руководителей совнархозов, министерств, ведомств,

строительных организаций и предприятий страны обязали беспрепятственно освобождать в порядке перевода работников, изъявивших желание переехать на постоянную работу в г. Архангельск.

По решению правительства в Архангельске в 1963–1968 гг. предстояло построить жилых домов общей площадью 1 145 тыс. м<sup>2</sup>, общеобразовательных школ на 11 040 ученических мест, детских дошкольных учреждений на 9 500 мест, больниц на 2 700 коек, а также других объектов культурно-бытового назначения и коммунального хозяйства, предприятий торговли и общественного питания.

Совету Министров РСФСР, Госстрою СССР, Министерству энергетики и электрификации, Министерству морского флота, Министерству транспортного строительства и Министерству связи СССР было поручено обеспечить выполнение в 1963–1967 гг. проектных и изыскательских работ, связанных с развитием г. Архангельска. В середине 60-х годов по согласованию с Госстроем СССР впервые на заболоченных территориях наряду с пятиэтажными зданиями было начато строительство зданий с большим числом этажей. Было признано целесообразным осуществлять экспериментальное строительство жилых домов, оборудованных централизованным теплоснабжением и кухонными электрическими плитами. Для этих домов Госплан СССР установил пониженный тариф на электроэнергию.

С 1963 г. Госстрой СССР начал разрабатывать мероприятия по освоению заболоченных территорий г. Архангельска: устройство оснований и фундаментов зданий, строительство дорог, подземных коммуникаций и сооружений на слабых грунтах. Он систематически оказывал техническую помощь в проектировании и строительстве этих объектов. На Министерство транспортного строительства было возложено выполнение специализированных и монтажных работ при сооружении мостов, путепроводов, железнодорожных линий, морских и речных причалов, а также при гидронамыве песка. Министерство обороны СССР обязали срочно закончить в г. Архангельске строительство нового аэропорта с аэровокзалом и провести к нему по болоту дорогу-дамбу. Министерство путей сообщения СССР обеспечивало строительство совмещенного железнодорожного и автомобильного моста через р. Северная Двина, железнодорожной станции на правом берегу с новым зданием пассажирского вокзала из стекла и бетона.

Министерство связи СССР отвечало за строительство в 1966–1968 гг. радиорелейной линии Архангельск – Вологда, необходимой для включения Архангельска в центральную телевизионную сеть. При этом Совет Министров РСФСР обеспечивал выполнение работ по строительству технических зданий, линий электропередач, изготовлению и монтажу антенных опор.

Министерство энергетики и электрификации СССР должно было уточнить схему теплоснабжения Архангельска на период до 1970 г. и совместно с Советом Министров РСФСР определить источники теплоснабжения, а также сроки строительства сооружений теплоснабжения. Министерство

морского флота и СМ РСФСР отвечали за возведение в центре города морского и речного вокзала.

В Архангельске были построены новые современные жилые микрорайоны, прекрасная гранитная набережная, высотное здание проектных институтов, ТЭЦ и другие уникальные сооружения, кардинально изменившие облик города и условия жизни населения. Большие объемы строительных работ были произведены не только в городе, но и в области. Архангельск соединили автомобильной дорогой с Вологдой и центром, железнодорожная магистраль пролегла до Карпогор. Для снабжения новостроек бетоном, раствором и шифером возведен Савинский цементный завод в Плесецком районе. Построен автомобильный мост через Северную Двину, который соединил о. Краснофлотский с городскими районами на обоих берегах реки.

Все это было достигнуто благодаря усилиям наших выпускников. За успехи в профессиональной деятельности правительство страны присвоило почетное звание заслуженного строителя РФ выпускникам СФ АЛТИ–АГТУ Е.А. Заруме, В.И. Федотову, Г.Н. Бирюкову, В.И. Гурову, П.П. Орлову и др.

Выпускники СФ трудились и в других регионах. Например, В.А. Гурьев сначала работал начальником строительства Архангельской ТЭЦ, затем строил Петрозаводскую ТЭЦ, Красноярскую ГРЭС (КАТЭК), а потом стал начальником Главного управления Севэнергостроя в Санкт-Петербурге.

В период 1989–1997 гг. в строительном комплексе Архангельской области появились трудности с заказами. У выпускников не стало гарантированного планового трудоустройства. Многие из них в это время уехали в Волгоградскую, Свердловскую, Московскую области, Санкт-Петербург и др. Помимо традиционных стали развиваться и другие направления строительных отраслей.

Ключевыми фигурами в рыночной экономике развитых стран являются специалисты по недвижимости. Квалифицированная оценка независимых экспертов необходима при акционировании компаний, перераспределении долей в фирме, получении кредита под залог, заключении договоров купли-продажи или страхования и т.д.

Учитывая перспективу развития Архангельской области и потребности ее экономики в 1994 г. на СФ АГТУ впервые в нашей стране начали подготовку специалистов по недвижимости с высшим образованием в соответствии с разработанной программой специализации 2903.11 «Оценка недвижимости». К обучению российских студентов были привлечены профессиональные оценщики из Норвежского отделения Международной ассоциации специалистов рынка недвижимости (FIABCI) и Норвежского инженерно-технического общества (NITO), которые работают с объектами, строящимися и эксплуатируемыми в аналогичных климатических условиях Европейского Севера. Российско-норвежские проекты № 7046 и № 7052 совместного обучения студентов в области оценки недвижимости и инвестицион-

ных проектов, управления недвижимостью осуществлены при поддержке правительства Норвегии. В 1999 г. в АГТУ состоялся первый выпуск специалистов по недвижимости [4, 5]. АГТУ первым в нашей стране был принят в число академических членов FIABCI. На базе СФ действует Архангельское региональное отделение Российского общества оценщиков. С 2002 г. специалисты по недвижимости в АГТУ обучаются по программе специальности 291500 «Экспертиза и управление недвижимостью».

В 1996 г. норвежское правительство в рамках программы квот выделило финансирование для обучения российских студентов в учебных заведениях Норвегии. С этого времени АГТУ ежегодно направляет студентов младших курсов в Университетский колледж г. Нарвика для обучения по программе 4-летней подготовки бакалавров. Для изучения специфики строительства по норвежским нормам и сравнения их с российскими строительными нормами и правилами летом 2000 г. впервые в магистратуру направлено на 3 года 4 выпускника АГТУ. Норвежская сторона признала предъявленные российские дипломы инженеров без тестирования. В 2001 г. в магистратуру уехали еще 10 выпускников [5].

В связи с заинтересованностью Норвегии в решении проблем возведения сооружений на слабых грунтах и обеспечения долговечности деревянных построек экологически безопасными методами Университетский колледж г. Нарвика к руководству дипломными проектами норвежских студентов по этим направлениям привлек профессоров кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов и кафедры инженерных конструкций и архитектуры АГТУ. Работа по этому международному проекту продолжается с использованием сети Интернет.

Учитывая потребности Архангельской области в инженерных кадрах для освоения имеющихся крупных месторождений алмазов и бокситов, в 1998 г. на СФ открыта новая специальность «Открытые горные работы», инженеров-математиков с производственной ориентацией начали готовить по специальности «Прикладная математика». В связи с возрастающим дефицитом рабочих кадров строительного профиля с 2000 г. на СФ открыта новая специальность «Профессиональное обучение. Строительство, монтажные и ремонтно-строительные технологии» для подготовки педагогов профессионального обучения.

АГТУ вкладывает много средств в развитие материальной базы для повышения качества обучения своих студентов в архитектурном направлении. При кафедре инженерных конструкций и архитектуры создан компьютерный класс, который обеспечен новой современной техникой, программами, доступом в Интернет.

В настоящее время в Архангельской области прекратилось строительство особо крупных государственных объектов, в основном занимаются реконструкцией существующих зданий, строительством по индивидуальным проектам малоэтажных деревянных и кирпичных домов с автономными системами отопления, канализации, артезианскими скважинами. С приняти-

ем закона о продаже земли прогнозируется активизация коттеджного строительства.

С кардинальным изменением спроса на строительном рынке резко сократились объемы типового проектирования. В связи с этим в нашей стране были ликвидированы многие проектные институты-гиганты, в которых работа расчленилась на узко специализированные этапы. При этом общую координацию деятельности архитекторов, конструкторов, технологов, экономистов и других узкопрофильных специалистов вели главные инженеры проектов, занимавшиеся административными функциями.

На смену институтам-гигантам пришли частные проектные бюро и фирмы. Они заинтересованы преимущественно в специалистах широкого профиля, способных не только разработать оригинальный силуэт объекта и органично вписать его в существующую среду, но и грамотно рассчитать основные несущие конструкции, компетентно выбрать наиболее рациональные решения. Именно такой комплексный подход к проектированию давно практикуется в развитых странах.

С учетом изменившихся потребностей строительного комплекса на СФ с 2003 г. впервые началась подготовка инженеров-архитекторов по новой специальности «Проектирование зданий», которая введена приказом Министерства образования РФ № 3200 от 8.11.2000. Продолжительность обучения по этой специальности составит 5,5 лет. Выпускники, освоившие прогрессивные технологии компьютерного архитектурного проектирования, будут полностью соответствовать требованиям международных стандартов и при желании смогут найти работу не только в нашей стране, но и за рубежом. Поскольку инженеры-архитекторы наряду с техническими знаниями должны обязательно обладать художественными способностями, то абитуриенты сдают, кроме математики, физики, русского языка, вступительный экзамен по рисунку архитектурной детали.

Учебными планами этой специальности предусмотрены специализации, которые студенты могут выбрать на 3-м курсе. В табл. 1 приведены специальности и специализации, имеющиеся на строительном факультете АГТУ в настоящее время.

Благодаря постоянному совершенствованию системы образования СФ не сократил прием студентов в условиях кризисного положения строительного комплекса, которое наблюдалось в период перехода к рыночной экономике, а значительно его увеличил. Основные итоги работы приемной комиссии СФ в 2002 г. приведены в табл. 2, а контингент студентов на 01.10.02 – в табл. 3.

Кроме того (см. табл. 2), Котласскому филиалу АГТУ было выделено по 5 бюджетных мест для обучения по специальностям 290300 и 291000, а Нарьян-Марскому филиалу – 3 бюджетных места по специальности 290300. Остальные студенты в филиалах приняты на платной основе.

Таблица 1

Год открытия	Специальность	Специализация	Шифр	Квалификация выпускника
1957	Промышленное и гражданское строительство	1. Технология, организация и экономика строительного производства (менеджмент в строительстве) 2. Реконструкция и реставрация зданий и сооружений 3. Информационные технологии в строительстве	290300	Инженер-строитель
1962	Строительство автомобильных дорог и аэродромов	Геоинформационные системы в дорожной отрасли	291000	Инженер путей сообщения
1998	Открытые горные работы		090500	Горный инженер
	Прикладная математика		010200, 073000	Инженер-математик
2000	Профессиональное обучение. Строительство, монтажные и ремонтно-строительные технологии		030500.14	Педагог профессионального обучения
2002	Экспертиза и управление недвижимостью		291500	Инженер-специалист по недвижимости
2003	Проектирование зданий		291400	Инженер-архитектор

Общеобразовательные дисциплины в течение двух лет они изучают в филиалах, а потом продолжают обучение на базе университета в Архангельске.

В целях повышения качества производственной подготовки, воспитания, а также трудоустройства выпускников и выполнения наиболее важных задач при строительстве в благоприятный летний период по инициативе СФ АГТУ в Архангельской области возродилось движение студенческих строительных отрядов [2]. После десятилетнего перерыва летнюю производственную практику в отрядах в 2000–2002 гг. прошли 475 студентов. В 2000 г. было организовано 3 строительных отряда, в 2001 г. – 11, в 2002 г. – 12, в 2003 г. – 17. При этом отряды дислоцировались не только в Архангельской области, но и в Республике Коми, Ненецком автономном округе, Ханты-Мансийском округе.

Таблица 2

Показатели	Значения показателей по специальностям						Всего по СФ
	290300	291000	090500	073000	030500.14	291500	
Конкурс, чел./место:							
по заявлениям	10,1	10,0	11,4	12,8	7,7	17,5	10,7
после сдачи экзаменов	5,5	5,6	5,6	8,0	3,4	10,7	5,3
Проходной/полупроходной балл	17	17/16	16/15	19/18	12/11	Медаль (5,0)	–
Всего зачислено	83	52	13	13	14	30	205
В том числе:							
медалистов	5	–	–	3	–	10	18
на договорной основе	33	14	4	3	1	19	74

Таблица 3

Специальность	Число студентов, чел., по курсам					Всего
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
290300	<u>54 + 29</u> 83	<u>42 + 26</u> 68	<u>56 + 32</u> 88	<u>58 + 21</u> 79	<u>35 + 21</u> 56	<u>245 + 129</u> 374
291000	<u>39 + 13</u> 52	<u>29 + 24</u> 53	<u>42 + 24</u> 66	<u>34 + 21</u> 55	<u>28 + 15</u> 43	<u>172 + 97</u> 269
090500	<u>11 + 2</u> 13	<u>10 + 4</u> 14	<u>10 + 3</u> 13	<u>8 + 5</u> 13	<u>8 + 1</u> 9	<u>47 + 15</u> 62
073000	<u>4 + 9</u> 13	<u>11 + 5</u> 16	<u>2 + 7</u> 9	<u>7 + 4</u> 11	<u>6 + 5</u> 11	<u>30 + 30</u> 60
030500.14	<u>6 + 8</u> 14	<u>8 + 7</u> 15	<u>5 + 9</u> 14	–	–	<u>19 + 24</u> 43
291500	<u>13 + 17</u> 30	<u>7 + 14</u> 21	<u>5 + 13</u> 18	<u>10 + 4</u> 14	<u>1 + 9</u> 10	<u>36 + 57</u> 93
Итого	<u>127 + 78</u> 205	<u>107 + 80</u> 187	<u>120 + 88</u> 208	<u>117 + 55</u> 172	<u>78 + 51</u> 129	<u>549 + 352</u> 901

Примечание. Первое слагаемое в числителе – число студентов мужского пола, второе – женского, в знаменателе – общее количество.

Высокое качество обучения, расширение номенклатуры специальностей и специализаций, доброжелательное и внимательное отношение, сотрудничество администрации факультета с ведущими специалистами кафедр в учебном процессе, а также перспективность профессии инженера-строителя способствовали тому, что на факультете сформировались профессиональные династии. Здесь учились заслуженный строитель РФ, бывший ведущий руководитель строительства Котласского целлюлозно-бумажного комбината и г. Коряжмы, депутат Архангельского областного собрания Е.А. Зарума, его дочь Н.Е. Слепцова, ныне работающая главным архитектором г. Коряжмы, внук А.А. Слепцов, который занимается контролем качества строительных работ на Архангельском ЦБК. Среди строителей Архангельской области известны представители семей Багрецовых, Беляевых,

Биричевских, Бирюковых, Воробьевых, Гниденко, Гурьевых, Гуровых, Едемских, Карельских, Катаевых, Кныш, Коржавиных, Лапшиных, Лебедевых, Орловых, Осипенко, Пономаревых, Преображенских, Румянцевых, Суверневых, Тифановых, Узких, Федотовых, Фрейнберг, Харченко, Чечуриных, Эмке и других.

Подготовка инженерных кадров на СФ сопровождалась формированием научных школ по наиболее актуальным направлениям работы строительного комплекса Архангельской области. В связи со сложностью возведения крупных строительных объектов на слабых торфяных грунтах по инициативе Н.П. Коваленко в начале 70-х годов на СФ начались разработки и сформировалась научная школа по этой проблеме. Большую помощь в ее создании оказал Ленинградский агрофизический институт. По результатам проведенных в Архангельске исследований оснований, фундаментов и подземных сооружений на торфяных грунтах под научным руководством академика, доктора технических наук, профессора Н.Ф. Бондаренко защитили кандидатские диссертации Н.П. Коваленко (1967 г.) и А.Д. Худяков (1970 г.). Это важное для Архангельской области научное направление до 1995 г. возглавлял доктор технических наук, профессор Н.П. Коваленко. В настоящее время большое внимание уделяется проблемам реконструкции и ремонта фундаментов на торфяных грунтах.

На 01.01.2001 г. муниципальный жилищный фонд г. Архангельска состоял из 4459 жилых домов общей площадью 6037,1 тыс. м<sup>2</sup>, где проживало 316 729 чел. Более 3 470 домов, т. е. 78 % фонда, выполнены из древесины. Из них 72 дома построены до 1900 г., 322 – до 1917 г. [3]. На протяжении последних 10 лет деревянный жилой фонд не обслуживался должным образом, что привело к интенсивному гниению и износу конструкций. В связи с актуальностью и высокой социальной значимостью проблемы ремонта и содержания деревянного жилого фонда Архангельским городским Советом депутатов от 30.10.2001 г. (постановление № 112) была принята программа «Ветхое жилье» на период 2002–2005 гг. Главной ее целью является продление сроков службы деревянных зданий [3].

В связи с этим на СФ активизировались исследования научной школы [1] по проблеме обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами. На основании проведенных экспериментов в п. Ясный Пинежского района Архангельской области построен деревопропиточный завод межрегиональной компании «Белкомур», разработана технология автоклавной пропитки под избыточным давлением деревянных деталей для реставрации памятников архитектуры, строительства, ремонта и реконструкции домов и других сооружений. В настоящее время ведутся исследования по созданию мобильных модульных автоклавных заводов для глубокой пропитки строительных изделий из древесины огне- и биозащитными препаратами с улучшенными экологическими характеристиками.

По результатам исследований по актуальным для Архангельской области проблемам на СФ АГТУ прошли международные научно-

технические конференции: «Реконструкция и ремонт зданий и сооружений в климатических условиях Севера» (1999 г.), «Строительство и реконструкция деревянных жилых домов» (2002 г.), «Перспективы освоения минерально-сырьевой базы Архангельской области» (2002 г.), «Возведение фундаментов на слабых грунтах» (2003 г.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варфоломеев Ю.А.* Обеспечение долговечности деревянных домов // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Строительство и реконструкция деревянных жилых домов». – Архангельск: АГТУ, 2002. – С. 5–7.
2. *Ефремов А.А., Соколов О.М., Варфоломеев Ю.А.* Производственная подготовка инженерных кадров в студенческих строительных отрядах // Лесн. журн. – 2002. – № 1. – С. 132–139. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Нилов О.В.* Актуальные задачи сохранения деревянного жилого фонда Архангельска // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Строительство и реконструкция деревянных жилых домов». – Архангельск: АГТУ, 2002. – С. 4–5.
4. *Соколов О.М., Раковский В.И.* Новая профессия для российского рынка недвижимости // Лесн. журн. – 1994. – № 5-6. – С. 151-153. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Соколов О.М. и др.* Российско-норвежское сотрудничество в сфере образования и науки с участием Архангельского государственного технического университета / О.М. Соколов, А.Л. Невзоров, Ю.А. Варфоломеев и др. // Лесн. журн. – 2001. – № 5-6. – С. 202–207. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 05.05.03

*O.M. Sokolov, A.L. Nevzorov, Yu.A. Varfolomeev, A.N. Fedotov*  
**Formation of Building Dynasties and Scientific Schools  
at Arkhangelsk State Technical University**

The development of educational services at Arkhangelsk Forest Engineering Institute-Arkhangelsk State Technical University and formation of building dynasties and scientific schools on acute problems of the Arkhangelsk region have been analyzed.



УДК 630\*791

***Е.С. Романов***

Романов Евгений Самуилович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики отраслей Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 160 печатных научных работ по проблемам экономической эффективности инвестиций и производственных мощностей в лесозаготовительной промышленности.



### **ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ\***

Затронуты теоретические положения институционализма, которые используются в исследовании современной ситуации в лесозаготовительной отрасли.

Ключевые слова: институты, институциональная среда, транзакционные издержки, типы организаций.

На кафедре экономики отраслей АГТУ выполняется исследование на тему «Институциональные факторы и средства сохранения и развития добывающей отрасли лесопромышленного комплекса (лесозаготовительная промышленность Архангельской области)», в котором используется аппарат пока еще мало известной в лесной экономической науке институциональной теории.

Институциональная экономика (ИЭ) – относительно новое направление в экономической теории. Ее рождение связывают со статьей Р. Коуза «Природа фирмы», вышедшей в 1937 г. Это направление развивается параллельно с классической экономической теорией (неоклассикой), дополняя ее.

Изучаемую в вузах дисциплину, называвшуюся прежде экономической теорией, а еще ранее политэкономией, теперь назвали просто экономикой. В основном это неоклассика, но есть там и немного об ИЭ. К сожалению, студенты, «сдавшие» экономику, весьма смутно помнят об институциональной теории. Пока институциональная экономика – удел специалистов; правда, ее основательно изучают в ВШЭ МГУ [4].

Все солидные цитируемые авторы-теоретики ИЭ живут за рубежом. Р. Коуз и Д. Норт удостоены Нобелевских премий за 1991 и 1993 гг. Современным лидером считают О.И. Уильямсона, фундаментальный труд которого «Экономические институты капитализма» переведен на русский язык [6]. Наилучшее, на наш взгляд, изложение институциональной теории дано в учебнике [2, с. 657-683]; автор главы – Р.И. Капелюшников.

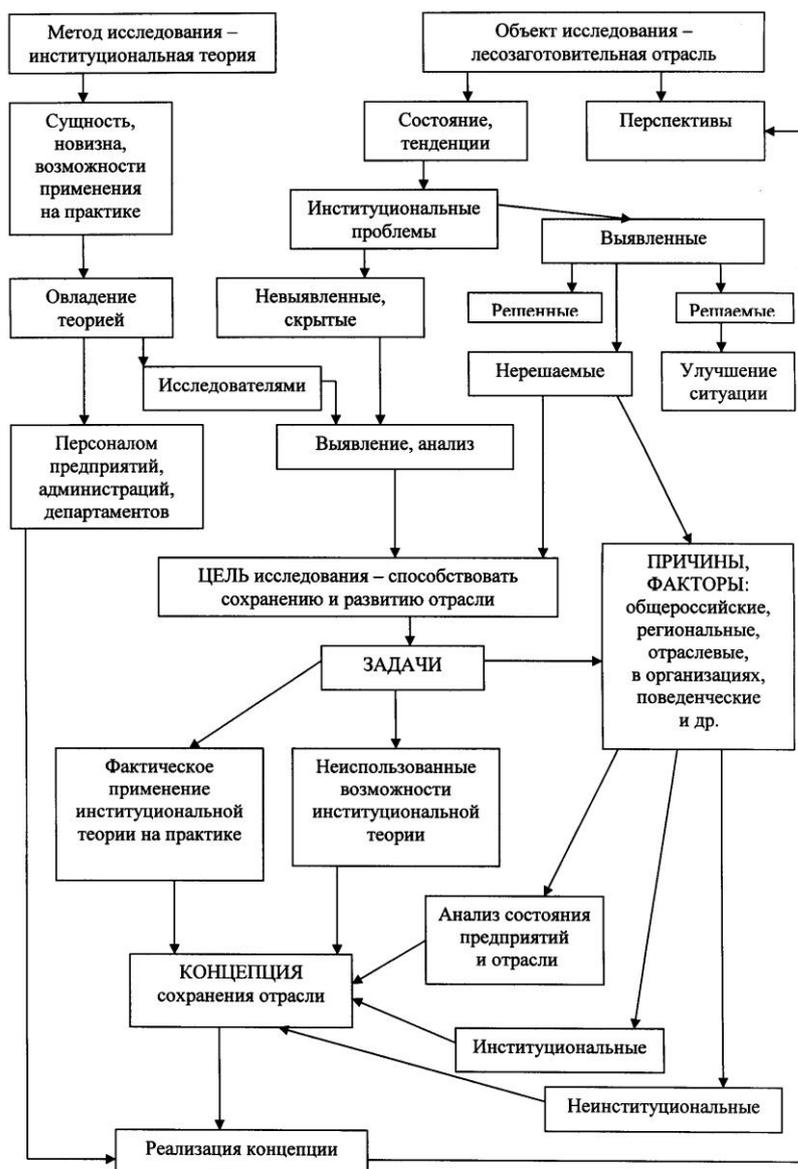
В отечественной экономической действительности институциональные процессы, конечно же, идут, но их участники – собственники и менед-

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (РГНФ) и администрации Архангельской области (проект № 02-02-00358 а/с).

жеры, в большинстве своем мало знают об этом. Институциональные разделы есть в разных программах реформирования, реструктуризации, в том числе и по лесопромышленному комплексу (ЛПК), но они очень узки по содержанию. А потребность в более глубоком изучении и использовании новой теории, несомненно, есть.

В заявке на грант мы не скрывали, что как отраслевые экономисты недостаточно владеем институциональной теорией (ИТ). В исследовании предусмотрено овладеть ИТ, а затем не только применить ее как метод исследования, но и донести до менеджмента ЛПК (см. схему).



Системограмма исследования

Справедливо отмечено [2], что пока новая теория характеризуется внутренней неоднородностью, имеет серьезные концептуальные расхождения, но тем не менее может считаться семейством подходов с общими идеями. Далее рассмотрены в основном те положения институциональной теории, которые, как мы полагаем, имеют отношение к теме нашего проекта.

1. *Институциональная среда, институты.*

О. Уильямсон дает следующее определение: «Институциональная среда – правила игры, определяющие контекст, в котором осуществляется экономическая деятельность. Базовые политические, социальные и правовые нормы образуют основу производства, обмена и распределения» [6, с. 668]. Изучать, учитывать следует «нравы, народные обычаи, институты, политические структуры, позиции, мотивы, пристрастия, инстинкты» (Ч. Бернард, цитировано по [6, с. 33]).

Наиболее содержательна, на наш взгляд, трактовка, данная В.Л. Макаровым [5]: «Институты экономические понимаются в широком и узком смыслах. В широком – это любые зафиксированные обществом правила, ограничивающие экономическое поведение индивидов; в состав правил входят законы, другие юридические нормы, т. е. все, что относится к юридическому регулированию экономической деятельности. Сюда же входят правила, формально не писанные, закрепленные в этических нормах, традициях, общественной морали... В узком смысле, институты – это различного типа организации независимо от того, оформлены они юридически или нет..., т. е. фирмы, акционерные общества, бюджетные учреждения, биржи, страховые компании, банки, судебные органы, различного рода ассоциации, объединения и т. п.». Формально такие институты могут быть созданы в странах с переходной экономикой весьма быстро. Однако изменить среду, в которой перечисленные институты функционируют, гораздо сложнее. Под средой понимаются: новое законодательство и его реальное применение; персонал, оперирующий новыми знаниями; население, адекватно реагирующее на новые условия, и многое другое, связанное с психологией, привычками, традициями.

В.Л. Макаров обращает внимание, что получил признание так называемый *индекс качества институтов* – интегральный показатель, в котором учитывается степень выполнения обязательств правительством, эффективность деятельности судебной и карательной систем, работа Центрального банка, уровень коррупции и теневой экономики и др. «Показано эконометрическими методами на большой выборке стран, что стабильный долговременный рост экономики и индекс качества институтов положительно взаимосвязаны. Для России вычисление данного индекса не проводилось, однако и так ясно, что он чрезвычайно низок», – эту оценку В.Л. Макарова можно без колебаний отнести к лесопромышленному комплексу; достаточно вспомнить события на Выборгском ЦБК (1999 г.), длительную напряженную ситуацию вокруг Котласского ЦБК в 2002–2003 гг. и т. д.

Приведенные и иные имеющиеся толкования не разграничивают четко институты и среду. По-видимому, такая грань и не нужна; важно лишь

не упустить что-то в анализе и оценках. В согласии со словарями иностранных слов будем считать, что институты – это определенные формы организации, регулирования, упорядочения общественной жизни, деятельности и поведения людей; элементы экономической и иных структур. Остальное можно отнести к институциональной среде.

### *2. Трансакционные издержки (ТИ).*

Эти издержки – отличительное понятие, визитная карточка институциональной теории. Создается впечатление, что их значение и роль как будто нагнетаются авторами. При этом они не спешат раскрыть содержание ТИ; их количественное выражение считается делом весьма непростым. Мало конкретных примеров прямого влияния ТИ. В.С. Катькало – переводчик и автор комментариев к книге [6] – справедливо замечает, что от акцента, который делает О. Уильямсон на значение минимизации ТИ, «может сделаться не по себе» даже бывалым ученым (с. 13).

Приведем некоторые разъяснения природы ТИ.

Р. Коуз, введший понятие ТИ в научный оборот, понимал под ТИ издержки пользования рыночным механизмом: необходимо вести переговоры, осуществлять взаимосвязи, устранять разногласия. Позднее к ТИ стали относить любые виды издержек, сопровождающие взаимодействие экономических агентов не только на рынке, но и внутри организации (соответственно «рыночные» и «иерархические» ТИ). В [2, с. 660] приводится, без ссылки на автора одна из классификаций ТИ. Это издержки:

- 1) поиска информации (о ценах, товарах, услугах, поставщиках, потребителях и т. д.);
- 2) ведения переговоров;
- 3) измерения количества и качества вступающих в обмен товаров и услуг;
- 4) по сертификации и защите прав собственности – расходы на содержание судов, арбитража, органов государственного управления, затраты времени и средств на восстановление нарушенных прав;
- 5) «оппортунистического поведения» менеджеров, работников.

О. Уильямсон дает такие определения основным понятиям своей теории (с. 690): «Трансакция – микроаналитическая единица анализа в теории ТИ. Она имеет место тогда, когда товар или услуга пересекают границу смежных технологических процессов. Трансакции определяются управленческими структурами (рынками, иерархиями, их смешанными формами)... Трансакционные издержки – *ex ante* издержки, связанные с составлением проекта договора, ведением переговоров и обеспечением гарантий соглашения, и в особенности *ex post* издержки, возникающие, когда реализация контракта сбивается с установленного курса в результате пробелов в договоре, ошибок, упущений и непредвиденных внешних возмущений. Это затраты на управление экономической системой».

Пишут о высокой и возрастающей доле ТИ в валовом внутреннем продукте США; о том, что контраст между развитыми и развивающимися странами пропорционален этой доле [2]. По аналогии, вероятно, можно ут-

верждать, что роль ТИ неодинакова в разных видах экономической деятельности и отраслях (в добывающих меньше, чем в обрабатывающих, возрастая с приближением к конечному продукту).

Здесь важно отметить, что обсуждаемая категория транзакционных издержек и их минимизации не сопровождается математическим моделированием. Назвав свой подход «экономической теорией транзакционных издержек», О. Уильямсон «не прибегает к конструированию математических моделей...», использует весь арсенал методов познания, отличных от математических: логические построения, прикладные исследования, проверку гипотез эмпирическими данными, анализ конкретных ситуаций и т. д.» [6, с. 13]. Автор этого замечания В.С. Катькало напоминает, что О. Уильямсон ранее проявил себя как «изошренный мастер» математического моделирования, но здесь «причина кроется в природе предмета исследований современного институционализма, проникновение в тайны которого требует от ученого, прежде всего, кардинального изменения в *видении экономической реальности*». Выделенные нами слова особенно важны. Мы адресуем их себе и всем, кто приобщается к новой теории, оценивает ее. Перечисленный выше «арсенал методов познания» также весьма полезен.

В работах отечественных экономистов транзакционные издержки не подтверждаются фактами той роли, которая придается им в теории, не приводятся цифры [1, 3]. Но у нас нет оснований не доверять мнению ведущих специалистов: «Согласно неоинституциональному подходу, независимо от того, являются ли транзакции «рыночными» или «иерархическими» (внутрифирменными), их обслуживание – дело весьма дорогостоящее» [2, с. 660].

По Р. Коузу, фирмы потому и существуют, что берут на себя часть транзакций, оставляя другую часть рынку. Разнообразие фирм и интеграция их обусловлены разной долей принимаемых на себя транзакций: «Во всех случаях фирма выступает как орудие экономии транзакционных издержек. О значении подобной экономии можно судить на примере строительства крупных морских судов в США. Было установлено, что для создания такого судна требуется иметь 74 компонента. Из них 43 производили сами судостроительные фирмы и 31 приобретали «со стороны». Средняя стоимость одного компонента составила около 50 тыс. дол. Анализ показал, что если бы все компоненты производились внутри фирмы, то средняя стоимость комплекта возросла бы на треть, а если бы все они были приобретены через рынок, – то почти вдвое» [2, с. 671].

Считают [2], что транзакционный подход помогает понять многие трудности переходного периода, с которыми столкнулись постсоциалистические страны. Со своей стороны добавим, что этот подход, может быть, даст ответ на вопрос, почему в российской экономике «не растут, как грибы» столь, казалось бы, испытанные и эффективные формы, как ФПГ, а в ЛПК застопорился процесс вертикальной интеграции.

Вряд ли нам удастся, хотя бы краем глаза, заглянуть в транзакции нынешних собственников лесных предприятий. Не будет, следовательно, и

их анализа. Но учитывать их, понимать, где и как они влияют, совершенно необходимо и возможно.

### *3. Другие вопросы.*

Помимо изложенного, достижениями и результатами новой ИЭ считаются [2]: объяснение многообразия контрактных форм и типов деловых организаций, их взаимодействия с институциональной средой; анализ оппортунистического поведения, влияния правовых режимов на систему экономических стимулов и т. д. Имея в виду задачи нашего исследования (см. схему), отметим следующее.

Представляется весьма важным утверждение О. Уильямсона: «Любая попытка серьезного изучения экономической организации должна исходить из признания комбинированного влияния на ее развитие условий ограниченной рациональности и оппортунизма в сочетании с условием специфичности активов... Именно условие специфичности активов является критерияльным для различия конкурентной и управленческой моделей контракта». Если эта специфичность мала, хорошо служат конкурентные модели контрактов. Однако не все активы легко перемещаемы для альтернативного применения. Анализ проблемы специфичности активов – «центральная задача исследовательской программы Новой институциональной экономической теории» (с. 90). Не вдаваясь пока в проблему специфичности активов, отметим, что для лесозаготовительной отрасли и в вопросе о вертикальной интеграции она имеет особо важное значение.

Используя новые поведенческие понятия – ограниченную рациональность людей и их оппортунизм, О. Уильямсон определяет основную задачу экономической организации как «разработку таких контрактов и структур управления, цель и результат действия которых состоят в экономии на ограниченной рациональности при одновременной защите трансакций от рисков, создаваемых оппортунистическим поведением их участников» [6, с. 24]. Здесь проявляется утверждение, что экономическая теория трансакционных издержек О. Уильямсона «по своей природе является междисциплинарной наукой, систематизирующей юридические, экономические и организационные знания».

Фирму (предприятие) рассматривают как нерыночный (административный, внутренний) механизм хозяйственной координации. Ее называют также иерархией, иерархической структурой. Часто употребляется выражение «перевод трансакции под крышу» объединенной собственности, которое означает выполнение тех или иных контрактных процедур внутри предприятия его менеджментом вместо прямых взаимодействий «на рынке». Это одно из основополагающих положений трансакционного подхода к фирме. Считается, что при «перевод под крышу» «мощные рыночные стимулы неизбежно приносятся в жертву организационному компромиссу», а для замены их «внутренней организацией» требуется «продумать огромную работу» [6, с. 620].

В центре внимания ИЭ находятся отношения внутри экономической организации, тогда как в неоклассике фирма и другие организации рассмат-

риваются как «черный ящик», внутрь которого неоклассика не заглядывает. В этом смысле подход новой ИТ может быть охарактеризован как *микро-микроэкономический* в отличие от микроэкономики неоклассической теории [2, с. 655].

Мы полагаем, что все эти вопросы обостряются при решении задачи – входит или не входит предприятие в вертикально-интегрированную структуру (ВИС). Никто пока не исследовал и ситуацию внутри таких специфических предприятий, как леспромхоз.

Вертикальным структурам посвящены две главы в книге О. Уильямсона. Используются понятия: интеграция «назад» и «вперед». Отсчет делается от переработчиков: интеграция «назад» – с сырьевыми предприятиями, «вперед» – с реализацией, сбытом, экспортом. Приводятся весьма поучительные примеры интеграции, в том числе «ошибочной» (причем не редкие). Однако наша российская действительность, по крайней мере в ЛПК, как всегда, столь своеобразна, что аналогий для поиска решений в этих двух главах [6] мало.

Обращаясь к новой теории, полезно знать и о критике в ее адрес. Согласно [2, с. 655], многие экономисты оценивают ИЭ скептически, ставя ей в вину, что:

недостаточно строги выводы ИЭ, поскольку большинство ее сторонников предпочитают неформализованный анализ (говоря проще, чисто словесную аргументацию);

главное понятие – транзакционные издержки – расплывчато; упор на них оборачивается недооценкой производственных издержек; ссылки на «невидимые невооруженным глазом» ТИ порой используются, чтобы оправдать неэффективную практику;

принижается роль власти; отношения с государством рассматриваются как равноправные, чуть ли не партнерские и т.д.

Уже сделанная нами часть исследования дает право согласиться с некоторыми из этих замечаний. Однако в целом институциональная теория, несомненно, позволяет по-новому взглянуть на современную ситуацию в лесопромышленном комплексе. Многие понятия этой теории выступают как институциональные факторы (условия, причины, среда) и как институциональные же средства достижения цели. При этом, естественно, учитываются и иные факторы: ресурсные, технологические, привычные экономические, социальные, экологические. Возможности анализа существенно возрастают.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зотов В.В., Пресняков В.Ф., Розенталь В.О. Институциональные проблемы реализации системных функций экономики // Экономическая наука современной России. – 2001. – № 3. – С. 51–69.
2. История экономических учений: Учеб. пособие / Под ред. В. Автономова, О. Ананьина, Н. Макашевой. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 784 с.

3. *Кожин А.Е.* Экономическая эффективность вертикальной интеграции лесопромышленных предприятий // Лесн. журн. – 2001. – № 5–6. – С. 174–181. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Олейник А.Н.* Институциональная экономика: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 416 с.

5. Политическая энциклопедия. В 2-х т. – М.: Мысль, 1999. – Т. 1. – С. 444.

6. *Уильямсон О.И.* Экономические институты капитализма: фирмы, рынки, «отношенческая» контракция / Пер. с англ. – СПб.: Лениздат; CEV Press, 1996. – 702 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 27.06.03

*E.S. Romanov*

### **Institutional Economics: from Theory to Practice**

Theoretical provisions of institutionalism to be used in studying the contemporary situation in forest-harvesting branch have been touched on.

---



## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3

**ЧИТАТЕЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА»  
В КАРЕЛИИ**

Согласно плану работы редакционной коллегии и редакции «Лесного журнала» и договоренности с Петрозаводским государственным университетом 15 мая 2003 г. в Республике Карелия на базе ПетрГУ состоялась читательская конференция и выездное заседание редколлегии журнала.

Участники конференции представляли научную общественность Карелии: лесоинженерный факультет ПетрГУ, Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, Карельский НИИ лесопромышленного комплекса.

Во вступительном слове ректор ПетрГУ В.Н. Васильев приветствовал участников читательской конференции, подчеркнул значимость и высокий статус «Лесного журнала», важность устойчивого развития лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и лесного хозяйства для экономики Республики Карелия и всей России, отметил некоторые требующие развития стороны взаимного сотрудничества вузов, науки, научных журналов.

О 170-летнем пути «Лесного журнала», его сегодняшних проблемах и планах на перспективу рассказал заместитель главного редактора, проф. Е.С. Романов. Он продемонстрировал первые номера издания, назвал главных редакторов и выдающихся ученых, входивших в разные годы в состав редколлегии, сделал обзор статей, опубликованных за последние годы учеными из Карелии.

Информацию о деятельности редколлегии и редакции в 2002–2003 гг. сообщила ответственный секретарь редакции, заслуженный работник культуры РФ Р.В. Беякова. Она поделилась многими проблемами, стоящими перед «Лесным журналом»: техническая оснащенность издательства, несопоставимость программных средств, особенно графических пакетов, финансовые трудности и др. Основным итогом выступления оптимистичный – «Лесной журнал» пользуется высокой популярностью, реферируется во многих странах Европы и Северной Америки, выходит регулярно.

Оживленную дискуссию вызвала опубликованная в № 2 за 2003 г. статья проф. АГТУ Е.С. Романова «Отраслевая структура промышленности в Северном регионе», запланированная программой конференции. В субъектах региона сложилась интересная ситуация: чем выше доля лесопромышленного комплекса в структуре промышленности, тем меньше производится

валового продукта на душу населения. Этому есть свои объяснения, и, видимо, заинтересованные читатели сумели уже проанализировать обсуждавшуюся статью.

Весьма разнообразными были выступления представителей научной общественности Республики Карелия: первого проректора ПетрГУ, доц. А.В. Воронина, проф. В.Н. Шиловского и А.М. Цыпука, директора КарНИИЛПК, проф. И.Р. Шегельмана, зав. лабораторией Института леса КНЦ РАН, д-ра с.-х. наук В.И. Саковца, декана лесоинженерного факультета ПетрГУ, проф. А.В. Питухина. Выступавшие высоко оценили работу редколлегии и редакции «Лесного журнала», благодарили за доброжелательное отношение к авторам, отмечали, что журнал входит в перечень изданий, рекомендуемых ВАК для публикации материалов докторских диссертаций. Высказывались и пожелания в адрес научной общественности Республики Карелия: шире публиковать в «Лесном журнале» труды ученых Карелии, обобщенные результаты крупных проектов, опыт работы филиалов кафедр, регулярно давать информацию о книгах по лесной тематике, изданных в Карелии, о юбилеях институтов, кафедр, отдельных ученых.

После завершения читательской конференции состоялось выездное заседание редакционной коллегии. На рассмотрение было предложено 14 статей.

Практику проведения читательских конференций «Лесного журнала» и выездных заседаний его редакционной коллегии следует всячески приветствовать и продолжить. Это дает возможность взаимного общения, повышает активность в исследованиях, инициирует существенное повышение качества научных публикаций.

**А.В. Питухин**

Петрозаводский государственный  
университет