

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

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

3

2002

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**, проф. **А.Н. Кириллов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **В.И. Мелехов**, 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. **А.Р. Родин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Е.Д. Сабо**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.И. Санев**, проф. **О. А. Терентьев**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры **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» № 3

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

---

Сдан в набор 22.04.2002. Подписан в печать 27.05.2002.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.  
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 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

- Н.А. Луганский, С.В. Залесов, Д.М. Карсуков, С.Г. Казанцев.* Влияние проходных рубок на таксационные показатели древостоя осушенного сосняка осоково-кустарничкового ..... 7
- И.И. Гусев.* Площади боковой поверхности древесных стволов ели по разрядам высот для определения прироста ..... 12
- Л.Н. Прохоров, В.Ф. Зинин, И.А. Слинченкова.* Основы формирования новой системы технологий и машин для лесного хозяйства и защитного лесоразведения ..... 17
- О.А. Неверова, Е.Ю. Колмогорова.* Ксерофитизация листьев древесных растений как показатель загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Кемерово) ..... 29
- С.С. Штукин.* Влияние химической и биологической мелиорации на рост плантационных культур сосны ..... 33
- В.В. Петрик.* Лесоводственные методы интенсификации подсочки сосновых древостоев ..... 38

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Э.Ф. Герц, В.А. Азаренок, Н.В. Ливищ, А.В. Мехренцев.* К вопросу о целесообразности применения операции подтрелевки при несплошных рубках. 44
- Н.Н. Буторин.* Транспортная сеть для освоения изолированных куртин леса... 48
- Ю.А. Ширнин, К.П. Рукомойников.* Технология разработки лесосек с использованием машин для трелевки сортиментов ..... 50

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- Ю.Б. Левинский, Г.Н. Левинская.* Расчетно-аналитические методы оценки новых способов раскрытия тонкого пиловочного сырья ..... 57
- Ю.А. Варфоломеев, М.А. Амбросевич.* Оптимизация рецептуры антисептиков по критерию стоимости с учетом защищающей способности ..... 62

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- С.С. Пузырев.* Изменение свойств МДМ и бумаги на ее основе при многократной переработке и использовании в композиции макулатуры и оборотного брака ..... 69
- Л.Ю. Фокина, В.К. Дубовый, Г.И. Чижов.* Упрочнение бумагоподобных композитов на основе стеклянных волокон с помощью полигидроксикомплексов алюминия ..... 77
- С.И. Третьяков.* Выделение таллового масла при разложении сульфатного мыла с использованием ультразвука ..... 82

---

<i>С.И. Третьяков.</i> Применение парциальной конденсации при ректификации таллового масла для улучшения качества продуктов .....	92
<i>И.В. Мискевич, К.Г. Боголицын.</i> Некоторые особенности статистического анализа параметров качества вод приливных устьев рек .....	98
<i>О.Ф. Горбунова, С.А. Вербицкая, К.Г. Боголицын.</i> Баланс соединений азота, образующихся при азотнокислотно-щелочной делигнификации древесины в водной и водно-этанольной средах .....	108
<i>О.А. Жвакина, Е.Д. Гельфанд.</i> О совместной переработке осадков сточных вод ЦБП с золой ТЭС .....	114
<i>Т.А. Королева, Г.В. Комарова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова.</i> Влияние предварительных кислых обработок перед отбелкой на показатели лиственной сульфатной целлюлозы .....	122
<b>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</b>	
<i>А.В. Воронин.</i> Оптимизация и управление ремонтно-механическими производствами комплексных лесопромышленных предприятий .....	127
<b>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</b>	
<i>Т. Бротте, Е. Варфоломеева, О. Мартинсен.</i> Различия скандинавских и российских стандартов по защитной обработке древесины .....	138
<b>НЕКРОЛОГИ</b>	
<i>Коллеги, ученики.</i> Владимир Самойлович Соминский .....	144
<i>В.Я. Бондарев, А.М. Невидомов, А.М. Киров, Н.Н. Довбня, С.А. Наумов, В.К. Хлюстов, В.А. Федоров, А.А. Нефедов.</i> Памяти Яльмара Георгиевича Дрочнева .....	144

---



## CONTENTS

## FORESTRY

<i>N.A. Lugansky, S. V. Zalesov, D. M. Karsukov, S. G. Kazantsev.</i> Influence of Accretion Cutting on Inventory Stand Data of Drained Sedge-subshrub Pine Forest.....	7
<i>I.I. Gusev.</i> Side Face Area of Spruce Trunks according to Height Bits for Increment Assessment .....	12
<i>L.N. Prokhorov, V.F. Zinin, I.A. Slinchenkova.</i> Basics of New System Formation of Technologies and Machines for Forestry and Protective Forest Breeding.....	17
<i>O.A. Neverova, E. Yu. Kolmogorova.</i> Xerophytization of Wood Plant Leaves as Index of Atmospheric Air Pollution (on the example of Kemerovo).....	29
<i>S.S. Shtukin.</i> Influence of Chemical and Biological Reclamation on Growth of Plantation Pine Cultures.....	33
<i>V.V. Petrik.</i> Silviculture Methods of Pine Stands Tapping Intensification.....	38

## WOODEXPLOITATION

<i>E.F. Gerts, V. A. Asarenok, N. V. Livshits, A. V. Mekhrentsev.</i> To Question of Expediency of Using Hauling Operations in Non-clear Cutting.....	44
<i>N.N. Butorin.</i> Transport Network for Development of Isolated Forest Curtains.....	48
<i>Yu.A. Shirnin, K.P. Rukomojnikov.</i> Technology of Felling Site Development using Machines for Shortlog Skidding .....	50

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>Yu.B. Levinsky, G. N. Levinskaya.</i> Estimated-analytical Assessment Methods of Cutting Modes for Thin Sawn Wood.....	57
<i>Yu.A. Varfolomeev, M.A. Ambrosevich.</i> Optimization of Preservative Composition according to Cost Criterion on Protective Ability Basis.....	62

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>S.S. Pusyrev.</i> Changing of MWP Properties and Paper Based on it at Multiple Treatment and Use in Garbage Composition and Circulating Waste.....	69
<i>L.Yu. Fokina, V. K. Dubovy, G. N. Chizhov.</i> Strengthening of Paper-similar Composites on Glass Fiber Base by Polyhydrocomplexes of Aluminium.....	77
<i>S.I. Tretyakov.</i> Liberation of Tall Oil at Soap Decomposition Using Ultrasound.....	82
<i>S.I. Tretyakov.</i> Use of Partial Condensation in Tall Oil Rectification for Product Quality Improvement.....	92
<i>I.V. Miskevich, K.G. Bogolitsyn.</i> Some Special Features of Statistical Analysis for Water Quality Parameters of Tidal River Mouth.....	98
<i>O.F. Gorbunova, S. A. Verbitskaya, K. G. Bogolitsyn.</i> Nitrogen Compound Balance Formed under Nitric-acid-and-alkaline Delignification of Wood in Water and Water-ethanol Media.....	108
<i>O.A. Zhvakina, E.D. Gelfand.</i> On Joint Treatment of Waste Waters Sludge of PPM with Ash from Heat-and-Power Station.....	114

---

---

<i>T.A. Koroleva, G.V. Komarova, V.I. Komarov, L.A. Milovidova. Influence of Preliminary Acid Treatment before Bleaching on Indices of Hardwood Sulphate Pulp.....</i>	122
<i>ECONOMICS AND MANAGEMENT</i>	
<i>A.V. Voronin. Optimization and Management of Mechanical-repair Plants at Integrated Forest-industrial Enterprises.....</i>	127
<i>SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE</i>	
<i>T. Braate, E. Varfolomeeva, O. Martinsen. Difference in Nordic and Russian Standards for Wood Treatment.....</i>	138
<i>NECROLOGUE</i>	
<i>Colleagues, followers. Vladimir S. Sominsky.....</i>	144
<i>V. Ya. Bondarev, A. M. Nevidomov, A. M. Kirov, N. N. Dovbnya, S. A. Naumov, V.K. Khlyustov, V. A. Fedorov, A. A. Nefedov. In Memory of Yalmar G. Drochnev.....</i>	144

---

---



УДК 630\*24:630\*5

***Н.А. Луганский, С.В. Залесов, Д.М. Карсуков, С.Г. Казанцев***

Луганский Николай Алексеевич родился в 1931 г., окончил в 1956 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 200 научных работ по проблеме повышения продуктивности лесов лесоводственными способами.



Залесов Сергей Вениаминович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 170 научных работ по проблеме повышения продуктивности сосновых лесов Урала лесоводственными способами.



Карсуков Дмитрий Михайлович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Уральскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 7 печатных работ в области ведения лесного хозяйства на осушенных землях.



Казанцев Станислав Геннадьевич родился в 1976 г., студент лесохозяйственного факультета Уральского государственного лесотехнического университета.



## **ВЛИЯНИЕ ПРОХОДНЫХ РУБОК НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВОСТОЯ ОСУШЕННОГО СОСНЯКА ОСОКОВО-КУСТАРНИЧКОВОГО**

На основании 10-летних наблюдений проанализировано совместное влияние осушения и проходных рубок на таксационные показатели древостоя в условиях сосняка осоково-кустарничкового на Среднем Урале. Доказано влияние интенсивности изреживания на показатели ассимиляционного аппарата. Предложены оптимальные параметры проходных рубок в сосновых древостоях, произрастающих на осушенных площадях.

проходные рубки, осушение, прирост, эффективная продуктивность древостоя, продуцирующая способность хвои.

Известно, что эффективность лесохозяйственных мероприятий существенно повышается при их комплексном воздействии. Нами исследовано влияние проходных рубок и гидролесомелиорации на таксационные показатели сосновых древостоев осоково-кустарничкового типа леса. Функции рубок ухода в насаждениях на осушенных площадях те же, что и на суходольных. Однако осушенные древостои, особенно естественного происхождения, имеют ряд отличий и, следовательно, требуется специальный подход к проведению в них лесохозяйственных мероприятий.

Цель наших исследований – изучить комплексное влияние проходных рубок и осушения на рост и продуктивность сосновых древостоев, произрастающих в условиях осоково-кустарничкового типа леса. В 1988 г. одновременно с осушительными работами на стационаре «Северный» (проект и осушение выполнены под руководством проф. А.С. Чиндяева) нами была заложена постоянная 3-секционная пробная площадь, на которой проведены проходные рубки интенсивностью 13,8 (секция В) и 25,5 % (секция С) по запасу. Секция А оставлена в качестве контроля. Подробно основные лесоводственно-мелиоративные характеристики стационара изложены в работах А.С. Чиндяева и др. [4, 5].

Таксационная характеристика древостоев на секциях до проведения проходных рубок различалась незначительно [2, 3]: по запасу древесины – 16,9 м<sup>3</sup>/га, относительной полноте – 0,1, средней высоте – 0,1 м, среднему диаметру – 0,5 см (табл. 1). Древостои всех секций имели возраст 75 лет, состав 10С, ед. Б, класс бонитета Va. При изреживании предпочтение отдавалось низовому методу отбора деревьев в рубку.

Сочетание гидролесомелиоративных работ с проходными рубками позволило существенно улучшить условия роста оставленных на доращивание деревьев и практически исключить естественный отпад. Следует отметить, что в первое пятилетие после начала эксперимента древостои приспосабливались к изменению экологической обстановки, чем и объясняется сравнительно невысокий прирост стволовой древесины. Во втором пятиле-



Таблица 1

Индекс секции	Состав	Средние		Густота, шт./га	Полнота	Запас, м <sup>3</sup>
		высота, м	диаметр, см			
А	10С	9,5	9,7	3618	1,0	152,2
	С <sub>сух</sub>	7,8	3,8	1859		
	Ед. Б	7,3	3,4	114		
В	10С	9,6	10,2	3695	1,1	166,3
	С <sub>сух</sub>	7,7	3,4	1790		
	Ед. Б	7,7	3,6	250		
С	10С	9,6	10,0	3455	1,0	149,4
	С <sub>сух</sub>	7,7	3,6	1320		
	Ед. Б	7,3	3,2	210		

Таблица 2

Индекс секции	Средний годичный прирост по запасу, м <sup>3</sup> /%, по периодам			
	1913–1988 гг.	1989–1993 гг.	1994–1998 гг.	1989–1998 гг.
А	<u>1,92</u>	<u>2,04</u>	<u>7,90</u>	<u>4,97</u>
	100	106	411	259
В	<u>2,13</u>	<u>2,36</u>	<u>12,74</u>	<u>7,55</u>
	100	111	598	354
С	<u>1,92</u>	<u>3,72</u>	<u>9,80</u>	<u>6,76</u>
	100	194	510	352

тии прирост резко увеличился и значительно превысил показатели до осушения (табл. 2).

Материалы табл. 2 показывают, что за 10 лет на участке, где проходных рубок не было, прирост древесины составил 49,7 м<sup>3</sup>/га и в результате осушения возрос в 2,6 раза. Благодаря практически полному исключению отпада и улучшению условий произрастания для оставленных на доращивание деревьев, прирост стволовой древесины на секциях, пройденных проходными рубками интенсивностью 13,8 и 25,5 %, составил соответственно 75,5 и 67,6 м<sup>3</sup>/га. Другими словами, проходная рубка и одновременное осушение позволили в 3,5 раза увеличить прирост стволовой древесины по сравнению с данными до осушения и в 1,4–1,5 раза по сравнению с показателями насаждения, не пройденного уходом.

Анализ эффективной продуктивности древостоев, под которой мы понимаем суммарный запас древесины на момент учета и заготовленной в данном древостое в процессе проходных рубок (табл. 3), свидетельствует, что при рубках интенсивностью 13,8 и 25,5 % она составляет соответственно 125,1 и 112,2 % от контроля.

Особенно эффективны проходные рубки слабой интенсивности. Динамика прироста (табл. 2) позволяет предположить, что в дальнейшем эффективная продуктивность древостоев, пройденных проходной рубкой, будет значительно выше, чем на участках без ухода.

Таблица 3

Индекс секции	Интенсивность рубки по запасу, %	Запас древостоя в конце периода наблюдения, м <sup>3</sup> /га	Вырублено древесины при рубках ухода, м <sup>3</sup> /га	Эффективная продуктивность древостоев	
				м <sup>3</sup>	% к контролю
A	0	193,4	–	193,4	100
B	13,8	213,4	28,5	241,9	125,0
C	25,5	174,6	42,2	217,0	112,2

Таблица 4

Индекс секции	Интенсивность рубки, %	Прирост за 3 года, м <sup>3</sup>	Масса хвои, кг	Производительность хвои, м <sup>3</sup> /100 кг
A	0	2,92	1200,5	0,243
B	13,8	3,71	1212,8	0,306
C	25,5	2,37	1376,2	0,172

Благодаря осушению и проходной рубке запас стволовой древесины за 10-летний период возрос в 1,3-1,6 раза, а следовательно, совмещение проходных рубок и осушительной мелиорации позволит обеспечить быстрое нарастание запаса осушенных древостоев и повышение товарной ценности выращиваемой древесины.

Важнейшей задачей лесохозяйственных мероприятий является увеличение интенсивности продуцирования органического вещества ассимиляционным аппаратом оставляемой на доразращивание части древостоя. В качестве показателя, характеризующего «работу» ассимиляционного аппарата, нами принято отношение прироста стволовой древесины за последние три года к массе хвои в абс. сухом состоянии. Объем стволовой древесины, продуцируемый 100 кг хвои на секциях пробной площади, представлен в табл. 4.

Анализируя продуцирующую способность хвои на участках, пройденных 10 лет назад проходными рубками, следует отметить, что прирост стволовой древесины, приходящийся на 100 кг хвои, наивысший на секции В с низкой интенсивностью рубки – 13,8 %. На секции С производительность хвои наименьшая – 0,172 м<sup>3</sup>/100 кг хвои, что связано, на наш взгляд, с повышенным расходом ассимилянтов на формирование дополнительных корней и хвои. Последнее подтверждается материалами табл. 5, из которой следует, что даже через 10 лет после проходной рубки возрастная структура хвои существенно отличается от контроля. Так, масса хвои текущего года в абс. сухом состоянии на секциях, пройденных проходной рубкой интенсивностью 25,5 %, в 1,4 раза выше, чем в контроле.

Для пройденных рубками древостоев характерно увеличение доли одно- и двухлетней хвои, что свидетельствует об ускоренном обновлении ассимиляционного аппарата, а следовательно, и повышенном расходе ассимилянтов. Аналогичные результаты были получены ранее С.В. Залесовым

Таблица 5

Возраст хвои, лет	Масса хвои в абс. сухом состоянии (числитель – кг, знаменатель – %) в секциях		
	А	В	С
1	<u>488,1</u>	<u>527,9</u>	<u>663,9</u>
	40,66	43,53	48,24
2	<u>337,0</u>	<u>352,9</u>	<u>442,3</u>
	28,07	29,10	32,14
3	<u>158,5</u>	<u>167,6</u>	<u>175,2</u>
	13,20	13,82	12,73
> 3	<u>216,9</u>	<u>164,4</u>	<u>93,8</u>
	18,07	13,55	6,89
Итого	<u>1200,5</u> 100,00	<u>1212,8</u> 100,00	<u>1376,2</u> 100,00

[1] при изучении лесоводственной эффективности проходных рубок в сосняках брусничном, ягодниковом и разнотравном.

Итак, осушительная мелиорация оказывает положительное влияние на таксационные показатели средневозрастных древостоев сосняка осоково-кустарничкового. Сочетание осушения с проходными рубками позволяет в течение первого десятилетия в 3,5 раза увеличить прирост стволовой древесины. Среди вариантов опыта лучшие лесоводственные показатели достигнуты при сочетании осушительной мелиорации с проходными рубками интенсивностью 13,8%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залесов С.В. Влияние проходных рубок на массу и продуктивность ассимиляционного аппарата сосны // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1988. – Вып. 14. – С. 152–160.
2. Залесов С.В. Продукция рубок ухода в насаждениях на осушаемых площадях // Актуальные проблемы осушения лесов на Среднем Урале: Информац. материалы к совещанию. – Свердловск, 1989. – С. 50–51.
3. Залесов С.В. Объекты кафедры лесоводства // Опытное лесохозяйственное предприятие Уральской лесотехнической академии: Сб. информац. материалов. – Екатеринбург, 1995. – С. 81–99.
4. Чиндяев А.С., Бирюкова Л.А., Маковский В.И. Общая характеристика стационара «Северный» в Уральском учебно-опытном лесхозе // Актуальные проблемы осушения лесов на Среднем Урале: Информац. материалы к совещанию. – Свердловск, 1989. – С. 171–173.
5. Чиндяев А.С., Бирюкова Л.А., Маковский В.И. Лесоводственно-мелиоративная характеристика стационара «Северный» Уральского лесотехнического института // Лесозоологические и палинологические исследования болот на Среднем Урале. – Свердловск, 1990. – С. 3–13.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 24.04.01

---

*N.A. Lugansky, S.V. Zalesov, D.M. Karsukov, S.G. Kazantsev*

**Influence of Accretion Cutting on Inventory Stand Data of Drained  
Sedge-subshrub Pine Forest**

Based on observations over several decades the joint influence of drainage and accretion cutting on inventory stand data in the conditions of sedge-subshrub pine forest in the Middle Urals has been analyzed. The influence of thinning intensity on assimilation data has been proved. The optimum parameters of accretion cutting in the pine forests growing on drained territories are suggested.

---

УДК 630\*56

**И.И. Гусев**

Гусев Иван Иванович родился в 1930 г., окончил в 1953 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН. Имеет более 150 печатных трудов в области исследования закономерностей формирования, роста, продуктивности и рационального использования таежных лесов.



### **ПЛОЩАДИ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ СТВОЛОВ ЕЛИ ПО РАЗРЯДАМ ВЫСОТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОСТА**

Установлена зависимость площади боковой поверхности древесных стволов от таксационного диаметра и высоты, т. е. разряда высот. По материалам пробных площадей со сплошной рубкой деревьев оценена точность определения наличного прироста древостоя по боковой поверхности.

прирост запаса, высота, диаметр, боковая поверхность деревьев, толщина годичного слоя.

Площади боковой поверхности древесных стволов изучали многие ученые. А.В. Тюрин [6, 7] предложил метод определения текущего прироста ствола по объему на основании площади боковой поверхности.

Исследования Н.П. Анучина показали, что площади боковой поверхности нормальных древостоев в пределах одного класса бонитета, но разного возраста – постоянные величины [1, 2]. Опираясь на данный вывод, он вычислил площади боковой поверхности стволов по классам бонитета для нормальных древостоев различных пород. Это значительно упростило определение текущего прироста запаса наличных деревьев как произведения площади камбиального слоя нормального древостоя на полноту, среднюю толщину годичного слоя и некоторый редуцирующий коэффициент:

$$Z_{i_i} = \sum S_i PtR, \quad (1)$$

где  $\sum S_n$  – площадь боковой поверхности стволов нормального древостоя определенного класса бонитета;

$P$  – полнота древостоя;

$t$  – средняя толщина годичного слоя на высоте 1,3 м от шейки корня;

$R$  – редуцирующий коэффициент.

Метод Н.П. Анучина [2] включен в учебники по лесной таксации в ряде зарубежных стран. По мнению М.Л. Дворецкого [5], этот метод дает большие ошибки в определении прироста запаса наличного древостоя, недостаточно обоснован теоретически. Так, редуцирование боковой поверхно-

сти стволов нормального древостоя на полноту приводит к завышенным значениям боковой поверхности. Данное замечание М.Л. Дворецкого привело нас к идее определения площади боковой поверхности по разрядам высот на основе данных перечислительной таксации пробных площадей.

Нами изучена площадь боковой поверхности стволов ели по типам возрастной структуры [3]. Показано, что при одинаковом диаметре и высоте стволов площадь боковой поверхности уменьшается по мере усложнения возрастной структуры.

В данной работе предлагается способ определения площади боковой поверхности древесных стволов древостоя с использованием данных перечислительной таксации. В опытной работе были поставлены следующие задачи:

- а) исследовать площади боковой поверхности стволов по разрядам высот;
- б) найти прирост запаса древостоя по площади боковой поверхности стволов;
- в) установить точность определения прироста по площади боковой поверхности стволов.

При определении площади боковой поверхности мы использовали эмпирическую зависимость для разновозрастных и условно разновозрастных таежных ельников:

$$S_{\text{бок}} = 0,633 + 1,757d_{1,3} h; \quad m_S = \pm 0,83, \quad (2)$$

где  $S_{\text{бок}}$  – площадь боковой поверхности древесного ствола без коры, м<sup>2</sup>;

$d_{1,3}$  – диаметр древесного ствола в коре на высоте 1,3 м от шейки корня, см;

$h$  – высота дерева, м;

$m_S$  – основная ошибка корреляционного уравнения, м<sup>2</sup>.

Корреляционная зависимость между  $S_{\text{бок}}$  и произведением  $d_{1,3}h$  очень высокая,  $r = 0,96$ . Корреляционное уравнение (2) было использовано для

Таблица 1

Диаметр, см	Высота, м, и площадь боковой поверхности, м <sup>2</sup> , древесных стволов ели по разрядам высот											
	I		II		III		IV		V		VI	
	$h$	$S$	$h$	$S$	$h$	$S$	$h$	$S$	$h$	$S$	$h$	$S$
8	10,8	2,15	9,9	2,02	8,9	1,89	8,0	1,76	7,1	1,63	6,7	1,57
12	15,6	3,92	14,3	3,65	12,9	3,35	11,6	3,08	10,2	2,78	8,8	2,49
16	19,1	6,00	17,4	5,52	15,8	5,08	14,1	4,60	12,4	4,12	10,8	3,67
20	22,1	8,40	20,2	7,73	18,3	7,06	16,3	6,36	14,4	5,69	12,5	5,03
24	24,9	11,13	22,7	10,21	20,5	9,28	18,6	8,48	16,2	7,46	14,0	6,54
28	27,4	14,11	25,0	12,93	22,6	11,75	20,2	10,57	17,9	9,44	15,5	8,26
32	29,4	17,16	26,9	15,76	24,4	14,35	21,8	12,89	19,2	11,43	16,6	9,96
36	31,3	20,43	28,6	18,72	25,8	16,95	23,1	15,24	20,4	13,54	17,7	11,83
40	32,9	23,76	30,0	21,72	27,2	19,75	24,4	17,78	21,5	15,74	18,6	13,71
44	34,3	27,15	31,3	24,83	28,4	22,59	25,4	20,27	22,4	17,32	19,4	15,63
48	35,2	30,32	32,1	27,70	29,1	25,17	26,0	22,56	23,0	20,03	19,9	17,42

52	35,7	33,25	32,6	30,42	29,5	27,58	26,4	24,75	23,3	21,92	20,2	19,09
56	36,2	36,25	33,0	33,10	29,8	29,95	26,7	26,90	23,6	23,85	–	–
60	36,6	39,22	33,4	35,84	30,1	32,36	27,0	29,09	23,8	25,72	–	–

вычисления  $S_{бок}$  по разрядам высот нашей шкалы [4]. Таким образом, таблицы объемов стволов ели Европейского Севера по разрядам высот дополнены данными о площади боковой поверхности стволов (табл. 1).

Определение площади боковой поверхности по данным перечислительной таксации покажем на примере условно разновозрастного ельника черничного, возраст древостоя 120 лет, площадь пробы 0,22 га, разряд высот IV (табл. 2).

Итак, площадь боковой поверхности стволов ельника на пробной площади составляет 1057,66 м<sup>2</sup>, или 4807,5 м<sup>2</sup> на 1 га.

Для определения прироста запаса наличного древостоя необходимо установить среднюю толщину годичного слоя на высоте 1,3 м от шейки корня. Для этого у 20 ... 25 учетных деревьев обмеряют толщину годичного слоя по керну и вычисляют среднее значение. На пробной площади  $i_{cp} = 0,72$  мм.

Таблица 2

Диаметр, см	Число деревьев	Высота, м	Разряд высот	Площадь боковой поверхности, м <sup>2</sup>	
				одного ствола	всех стволов
8	9	8,7	III	1,76	15,84
12	37	11,7	IV	3,08	113,96
16	37	14,7	IV	4,60	170,20
20	38	17,6	III	6,36	241,68
24	25	19,3	IV	8,48	212,00
28	20	20,2	IV	10,57	211,40
32	6	23,0	IV	12,89	77,34
36	1	24,0	IV	15,24	15,24
Итого	173	–	–	–	1057,66

Многочисленные исследования показывают, что толщина годичного слоя на высоте груди не является средней по длине ствола. На разных расстояниях от основания дерева годичный слой неодинаков по толщине. В связи с этим необходимо использовать переводный (редукционный) коэффициент для перехода от толщины годичного слоя на высоте груди к истинной средней его величине:

$$i_{cp} = R_i i_{1,3}, \quad (3)$$

где  $i_{cp}$  – истинная средняя толщина годичного слоя;

$i_{1,3}$  – толщина годичного слоя на высоте 1,3 м от шейки корня;

$R_i$  – редукционный коэффициент.

Редукционный коэффициент в разновозрастных ельниках черничных зависит от возраста ( $r = 0,45$ ,  $\eta = 0,58$ ) и выражается уравнением

$$R_i = 0,701 + 0,105A - 0,0048A^2; \quad m_R = \pm 0,12, \quad (4)$$

где  $A$  – возраст, десятки лет.

В условно разновозрастных ельниках, несмотря на большую возрастную амплитуду,  $R_i$  не зависит от возраста деревьев. Здесь целесообразно пользоваться средним значением  $R_i$ , вычисленным для всего древостоя, но обязательно по типам леса или классам бонитета. Для ельника черничного среднетаежной подзоны  $R_i = 1,310 \pm 0,010$ , для долгомошного типа леса  $R_i = 1,200 \pm 0,011$ . Для разновозрастных таежных ельников с двумя выраженными естественными поколениями среднее значение  $R_i = 1,18$ .

Применение редуцированного коэффициента позволяет более точно определить текущий прирост запаса наличного древостоя по боковой поверхности стволов:

$$Z_M^{\bar{a}} = \sum S_{\text{бок}} i_{1,3} R_i, \quad (5)$$

где  $Z_j^{\bar{a}}$  – годичный прирост запаса наличного древостоя,  $\text{м}^3$ ;

$\sum S_{\text{бок}}$  – площадь боковой поверхности древесных стволов древостоя без коры,  $\text{м}^2$ .

Для нашего примера (табл. 2)  $\sum S_{\text{бок}} = 4807,5 \text{ м}^2/\text{га}$ ,  $i_{1,3} = 0,72 \text{ мм} = 0,00072 \text{ м}$ ,  $R_i = 1,31$ . Тогда годичный прирост запаса исследуемого древостоя  $Z_j^{\bar{a}} = 4807,5 \cdot 0,00072 \cdot 1,31 = 4,53 \text{ м}^3/\text{га}$ . Истинный прирост запаса на данной пробе, определенный по приросту всех срубленных деревьев, равен  $4,27 \text{ м}^3/\text{га}$ . Расхождение составляет  $+0,26 \text{ м}^3/\text{га}$ , или  $+6,1 \%$ .

Для оценки прироста запаса наличного древостоя предлагаемым методом использовали данные 11 пробных площадей, заложенных в ельниках Севера со сплошной рубкой деревьев. При этом прирост запаса древостоя на пробных площадях определен как сумма прироста объемов стволов. У каждого ствола прирост объема определен с использованием секционной формулы

$$Z = V_A - V_{A-n}, \quad (6)$$

где  $Z$  – прирост объема ствола,  $\text{м}^3$ ;

$V_A, V_{A-n}$  – объем ствола в настоящее время и  $n$  лет назад (определен по сложной формуле Губера).

Из одиннадцати пробных площадей четыре относятся к IV, три к III, три к V разряду и одна ко II разряду высот.

Для оценки точности определения прироста запаса вычисляли систематическую и среднюю квадратичную ошибки. Первая составила  $-0,1 \%$ , вторая  $\pm 6,9 \%$ . Следовательно, в 68 случаях из 100 расхождение не превысит однократной ошибки  $\pm 6,9 \%$ . Это вполне удовлетворительные результаты.

Таким образом, при определении прироста запаса наличного древостоя можно рекомендовать использовать площади боковой поверхности древесных стволов по разрядам высот (табл. 1).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ



1. *Анучин Н.П.* Новый метод определения текущего прироста насаждений // Лесн. хоз-во. – 1959. – № 11. – С. 5–10.
2. *Анучин Н.П.* Лесная таксация: Учеб. для вузов. – 5-е изд., доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
3. *Гусев И.И.* Продуктивность ельников Севера. – Л.: ЛГУ, 1978. – 232 с.
4. *Гусев И.И.* Закономерности строения еловых древостоев Европейского Севера: Методич. пособие. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1977. – 40 с.
5. *Дворецкий М.Л.* Текущий прирост древесины ствола и древостоя. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 125 с.
6. *Тюрин А.В.* Определение древесного прироста при помощи боковой поверхности ствола // Науч. зап. Воронеж. с.-х. ин-та. – 1936. – Т. 4 (19). – С. 70–84.
7. *Тюрин А.В.* Таксация леса: Учеб. для вузов. – М.: Гослесбумиздат, 1945. – 376 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 28.12.01

*I.I. Gusev*

### **Side Face Area of Spruce Trunks according to Height Bits for Increment Assessment**

The side face area of trunks has been found out to depend on inventory diameter and height i.e. height bits. Based on test areas with clear cuttings the accuracy of assessment of stand growth according to side face is analyzed.

---

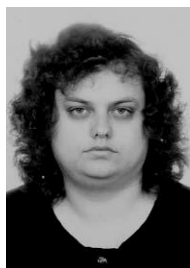
УДК 628.395 : [635.054 / .055 : 54-43]

**О.А. Неверова, Е.Ю. Колмогорова**

Неверова Ольга Александровна родилась в 1959 г., окончила в 1981 г. Кемеровский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и микробиологии Кемеровского технологического института пищевой промышленности, руководитель группы биоиндикации окружающей среды Кузбасского ботанического сада (филиала ЦСБС СО РАН). Имеет около 40 печатных работ по проблеме биоэкологической оценки загрязнения окружающей среды и состояния наземных экосистем в Кузбассе.



Колмогорова Елена Юрьевна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Кемеровский государственный университет, инженер Кузбасского ботанического сада (филиала ЦСБС СО РАН), аспирант Кемеровского технологического института пищевой промышленности. Имеет 2 научные статьи в области разработки основных принципов развития зеленого фонда г. Кемерово как важного фактора оздоровления городской среды.



**КСЕРОФИТИЗАЦИЯ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ  
КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
(НА ПРИМЕРЕ г. КЕМЕРОВО)**

Установлено соответствие уровней загрязнения атмосферы города промышленными выбросами и степени изменения ряда анатомических характеристик. Сделан вывод о возможности использования данных показателей для индикации загрязнения воздуха и его влиянии на древесные растения.

древесные растения, липа мелколистная, рябина сибирская, ксерофитизация, фитоиндикация, загрязнение атмосферного воздуха.

Экологическая ситуация в г. Кемерово – крупном промышленном центре – сохраняется напряженной, несмотря на общее сокращение производства. Котловинное положение города с открытым выходом только на северо-запад при господствующих юго-западных ветрах, повторяемости слабых ветров (20 ... 40 %) и приземных инверсий (30 ... 45 %) определяет повышенный уровень загрязнения атмосферы. От стационарных источников загрязнения в атмосферу поступает 63,491 тыс. т (57,5 %) токсических веществ. В основном это выбросы предприятий энергетики (73,0 %), химической и нефтехимической промышленности (4,7 %), черной металлургии (7,8 %). К ним относятся диоксид азота (1,0 ПДК), формальдегид (4,33 ПДК), аммиак (2,0 ПДК), сероуглерод (1,0 ПДК), бензпирен (4,62 ПДК), фенол (0,66 ПДК) [5].

Общеизвестно, что действие токсических выбросов предприятий и транспорта опасно не только для населения, но и для зеленых насаждений, которые вследствие угнетения и повреждения ассимиляционных органов и крон имеют пониженную декоративность и не выполняют в полной мере экологических функций. Если для человека качество атмосферного воздуха регламентируют санитарно-гигиенические ПДК ингредиентов, то для зеленых насаждений они еще только разрабатываются. Учитывая высокую чувствительность растений к многим промышленным газам [ 1, 2, 4 ], можно обоснованно связывать плохое состояние зеленых насаждений города с характером загрязнения воздуха.

Ксерофитизация листьев в условиях промышленного загрязнения проявляется в уменьшении их размеров и числа на годичных побегах, утолщении листовой пластинки, увеличении числа устьиц на  $1\text{ мм}^2$  поверхности листа, уменьшении размеров клеток всех тканей листа. Наиболее удобным методом регистрации этих изменений у листьев растений является подсчет числа устьиц на  $1\text{ мм}^2$  поверхности [3].

Цель настоящей работы – исследовать влияние промышленных газов на некоторые анатомические показатели устьичного аппарата листьев древесных растений; выяснить степень зависимости исследуемых показателей у древесных растений от уровней загрязнения районов г. Кемерово; оценить возможность использования анатомических показателей состояния ассимиляционного аппарата древесных растений для индикации загрязнения воздуха и степени его влияния на древесные растения.

Объектом исследования служили лиственные породы – рябина сибирская и липа мелколистная, характеризующиеся высокой декоративностью и широко используемые в озеленении г. Кемерово. Возраст древесных растений составлял 30 ... 50 лет. Пробы растительных образцов отбирали в июле 1999–2000 гг.

Пробные площади были заложены на территории пяти существующих районов города – Ленинского, Центрального, Заводского, Кировского, Рудничного. В каждом районе исследовали растения парковых и магистральных посадок. Контрольные деревья произрастали на фоновых участках, расположенных в 30-километровой зоне северо-восточного направления от городской черты.

В качестве анатомической характеристики ассимиляционного аппарата использовали число устьиц на  $1\text{ мм}^2$  листовой поверхности и степень их открытости, которые определяли с помощью микроскопа и осветителя отраженного света ОИ-21. Исследования проводили в зимнее время на высушенных образцах, размоченных в воде в течение 24 ч.

Проведенные нами исследования показали, что в условиях города у липы мелколистной и рябины сибирской наблюдается увеличение общего числа устьиц на  $1\text{ мм}^2$ , а также процента закрытых. Отмечены различия в степени изменений изучаемых признаков у деревьев различных видов, а также у деревьев магистральных и парковых посадок. В городской среде число устьиц на  $1\text{ мм}^2$  поверхности листьев больше у липы мелколистной,

## Анатомические показатели листьев (средние данные за 1999–2000 гг.)

Район	Число устьиц на 1мм <sup>2</sup>		
	общее, шт.*	открытых, %	закрытых, %
Липа мелколистная			
Контроль	108,0	83,8	16,2
Магистральные посадки			
Ленинский	214,4	64,7	35,3
Центральный	220,7	52,7	47,3
Заводский	244,4	44,2	55,8
Кировский	254,3	46,2	53,8
Парковые посадки			
Ленинский	205,0	74,7	25,3
Центральный	221,6	72,7	27,3
Заводский	228,5	64,2	35,8
Кировский	235,7	56,2	43,8
Рябина сибирская			
Контроль	169,6	54,0	46,0
Магистральные посадки			
Ленинский	228,5	44,7	55,3
Центральный	236,7	32,7	67,3
Заводский	244,1	34,2	65,8
Рудничный	241,8	26,2	73,8
Парковые посадки			
Ленинский	219,6	54,7	45,3
Центральный	236,3	52,7	47,3
Заводский	234,5	44,2	55,8
Кировский	244,4	46,2	53,8
Рудничный	242,3	45,6	54,4

\* Отмечены достоверные отличия от контроля при  $P_{0,95}$ .

чем у рябины сибирской. У липы мелколистной оно увеличивается в магистральных посадках на 99 ... 135, в парковых на 90 ... 118 %, причем максимально в Заводском и Кировском районах (соответственно на 112 и 118 % в парковых и 126 и 135 % в магистральных посадках) – см. таблицу. В Рудничном районе не произрастает.

У рябины сибирской в условиях городской среды увеличение числа устьиц на 1мм<sup>2</sup> поверхности листьев выражено меньше, чем у липы, хотя различия с контролем достоверны. В целом по городу оно составило 29,5 ... 44,0 %. Различия этого показателя в парковых и магистральных посадках незначительны (см. таблицу). Максимально оно на поверхности листьев рябины Заводского, Рудничного и Кировского районов: в магистральных посадках Заводского и Рудничного районов превышение над контролем составляет соответственно 44,0 и 42,5 %, в парковых посадках Рудничного и Кировского районов 44,1 и 42,9 %.

По данным В.С. Николаевского [3], ксерофитизация ассимиляционных органов растений вызвана подавлением фазы растяжения клеток из-за недостатка ассимилятов (ингибирование фотосинтеза) и возможного нару-

шения гормональной регуляции роста. Поэтому листья на загрязненных территориях мелкие, у них мельче клетки тканей и больше устьиц на 1мм<sup>2</sup> поверхности. Следовательно, изменение числа устьиц может служить надежным показателем при использовании метода фитоиндикации загрязнения атмосферного воздуха в промышленных центрах и городах.

Результаты исследований показывают, что более всего промышленными выбросами загрязнена атмосфера Заводского, Кировского и Рудничного районов города.

По данным Кемеровского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, на территории города в воздухе присутствуют более 20 ингредиентов, по 12 из которых превышены гигиенические ПДК. Наши данные согласуются с этими показателями. Наиболее загрязнена атмосфера Кировского района, где в воздухе присутствует диоксид азота (среднегодовая концентрация 1,4, максимальная 4,9 ПДК), оксид углерода (максимальная 3,8 ПДК), аммиак (средняя до 3,5, максимальная разовая 8,6 ПДК), диметиламин (максимальная 9,2 ПДК).

Вместе с тем Кировский район подвергается воздействию выбросов предприятий Заводского района при переносе их господствующими юго-западными ветрами. В Рудничном районе в воздухе преобладает формальдегид (средняя концентрация 1,5, максимальная разовая 4,9 ПДК), сероуглерод (соответственно 1,5 и 4,2 ПДК). В Заводском районе много пыли, хлористого водорода (максимальная концентрация 2,8 и 2 ПДК), аммиака (средняя 2 ПДК). Центральный район характеризуется высоким содержанием в воздухе оксида азота (максимальная концентрация 1,4 ПДК), сероуглерода (средняя 1,7 ПДК), фенола (среднегодовая 3,8 ПДК). В Ленинском районе отмечается повышенное содержание аммиака в воздухе (среднегодовая 1,5 ПДК) [5].

Таким образом, установлено некоторое соответствие между уровнями загрязнения атмосферы города промышленными выбросами и изменением изучаемых характеристик, что позволяет сделать вывод о возможности использования рассмотренных показателей как для индикации загрязнения воздуха, так и для оценки его влияния на древесную растительность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, 1979. – 278 с.
2. Николаевский В.С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений. – М., 1989. – 65 с.
3. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения окружающей среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. – М.: МГУЛ, 1998. – 193 с.
4. Николаевская Т.В. Эколого-физиологическая оценка устойчивости растений к трем газам (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: ТСХА, 1992. – 17 с.

---

5. Состояние окружающей природной среды Кемеровской области в 1999 году: Доклад Госкомитета по охране окружающей среды Кемеровской области. – Кемерово, 2000. – 289 с.

Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности

Поступила 01.06.01

*O.A. Neverova, E.Yu. Kolmogorova*

**Xerophytization of Wood Plant Leaves as Index of Atmospheric  
Air Pollution (on the example of Kemerovo)**

Some accordance of atmosphere pollution levels by industrial emissions and degrees of changing a number of analytical characteristics has been established. A conclusion is drawn about the possibility of using the data for air pollution indication and its influence on trees.

---

УДК 630\*231

***С.С. Штукин***

Штукин Сергей Сергеевич родился в 1945 г., окончил в 1973 г. Белорусский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства Белорусского государственного технологического университета. Имеет более 100 научных работ в области лесовосстановления и лесовыращивания.



## **ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА РОСТ ПЛАНТАЦИОННЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ**

Показано, что при плантационном выращивании сосны наиболее позитивные результаты дает биологическая мелиорация в комплексе с оставлением порубочных остатков в люпиновом травостое.

плантационное лесовыращивание, селекционное изреживание, биологическая и химическая мелиорация, интенсивность роста.

В мировом лесоводстве одним из методов интенсификации воспроизводства лесных ресурсов является выращивание древесных пород в плантационных (целевых) культурах. Этот интенсивный метод обеспечивает завершённый цикл ускоренного выращивания древесины нужного качества от подготовки площади и посадки культур до рубки главного пользования.

Большое внимание плантационному лесовыращиванию уделяется в странах Латинской Америки, США, Канаде, Китае, Франции, Японии. К 1990 г. в мире было уже создано 129,6 млн га лесных плантаций (3,2 % лесов планеты), из которых 98,9 млн га находится в странах умеренного климата и 30,7 – в тропиках [5].

Существенные предпосылки для плантационного лесовыращивания имеются и в Беларуси, России. Так, в обычных лесных культурах уже после 10–15-летнего их возраста значительно усиливается конкуренция между древесными растениями, что приводит к ослаблению роста и ухудшению санитарного состояния насаждений. Проведение же рубок ухода требует значительных затрат, которые не окупаются, так как вырубемая мелкотоварная древесина не пользуется спросом. Уход в культурах затруднен из-за сложности применения машин и механизмов. Поэтому в мировой практике лесного хозяйства рубки ухода часто рассматриваются как экономически нецелесообразные [4]. Не случайно внедрение интенсивных технологий лесовыращивания посредством соз-

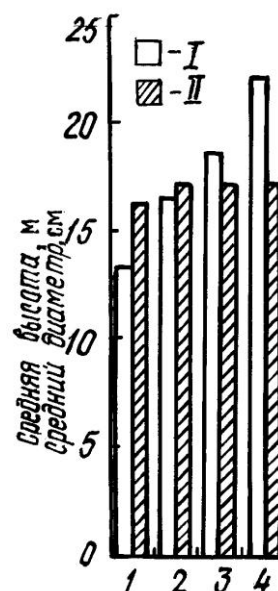
дания и выращивания плантационных лесных культур предусмотрено Стратегическим планом развития лесного хозяйства Беларуси [2, с. 70]. И совершенно не случайно один из главных специалистов в области лесовыращивания в Беларуси проф. А.М. Кожевников [1] пришел к выводу, что в будущем рубки ухода останутся только в естественных лесах, а искусственные леса будут создаваться плантационным методом при строгом размещении культивируемых растений на площади.

Постановка экспериментов по плантационному выращиванию сосны вначале проводилась по методике ЛенНИИЛХа (1975), а затем творчески дополнена автором с учетом региональных условий. Работа заключалась в изреживании ранее созданных культур.

Первый стационар заложен в квартале 57 Глубокского лесничества Глубокского опытного лесхоза путем изреживания 8-летних культур на площади, вышедшей из-под сельскохозяйственного пользования, в типе лесорастительных условий  $A_2 - B_2$ . Почва была подготовлена плугом ПКЛ-70 в агрегате с трактором ТДТ-40М. Посадка выполнена однолетними сеянцами лесопосадочной машиной ЛМД-1, размещение  $1,6 \times 0,7$  м, густота посадки по технической приемке составляла 8,5 тыс. растений на 1 га, приживаемость, по данным инвентаризации, в первый год роста – 97, во второй – 94 %. Ко времени изреживания культуры хорошо сохранились и имели густоту 8 тыс. стволов на 1 га. Кроны в рядах сомкнулись, а между рядами были близки к смыканию. Почва опытного участка дерново-подзолистая, слабоподзоленная, связно-песчаная с переходами в супесчаную, на песке связном, подстилаемая песком рыхлым и суглинком легким.

Изреживание культур проведено в мае – июне 1976 г. В соответствии с планируемыми вариантами размещения древостой разбит на четыре секции. В трех из них вырубали каждый второй ряд деревьев; в оставленных рядах проведена селекционная рубка и для дальнейшего роста намечено на первой секции каждое четвертое дерево, на второй – второе, на третьей деревья в рядах не вырубались, на четвертой – контрольные делянки с исходной густотой. В результате получены четыре варианта размещения деревьев ( $3,2 \times 2,8$ ;  $3,2 \times 1,4$ ;  $3,2 \times 0,7$  и  $1,6 \times 0,7$  м) с густотой культур соответственно 1, 2, 4 и 8 тыс. стволов на 1 га. В каждом варианте оставлено не менее 500 деревьев.

В секциях с густотой 1, 2 и 4 тыс. экз./га предусмотрены варианты с раздельным и совместным применением удобрений и гербицидов, а также контроль. В контрольной секции с густотой 8 тыс. экз./га имеются варианты с удобрениями и без них (всего 14 вариантов). В вариантах с удобрениями в мае 1977 г. внесена аммиачная селитра в дозе 100 кг д.в. на 1 га, в мае 1979 г. – полное удобрение в такой же дозе азота, фосфора и калия, в мае 1983 и 1989 гг. – аммиачная селитра (150 кг/га). В вариантах с гербицидами в июне 1977 г. применили прометрин (5 кг д.в. на 1 га), в





апреле 1978 г. то же, в июле 1979 г. – 2,4Д-аминную соль (3 кг/га). В вариантах с удобрениями и гербицидами все перечисленные выше мелиоративные приемы выполнены совместно. Площадь объекта 8,2 га.

В квартале 58 Глубокского лесничества в июле – августе 1976 г. путем изреживания 11-летних культур сосны с многолетним люпином заложен второй стационар, где имеются такие же варианты густоты и размещения деревьев на площади, как на первом объекте, а также предусмотрены контрольные делянки с густотой 1 и 2 тыс. стволов на 1 га без люпина и контроль с люпином и исходной густотой. Почва на участке дерново-подзолистая, слабоподзоленная, супесчаная, на супеси рыхлой, подстилаемая песком рыхлым хрящеватым и с глубины 108 см мелкозернистым. Площадь стационара № 2 составляет 2,7 га.

Интенсивность роста формируемых насаждений на стационаре № 1 мы исследовали в сентябре 2000 г. При этом установлено, что средний диаметр контрольных 32-летних древостоев составляет всего 13,4 ... меньше, чем при густоте 2 тыс. стволов на 1 га

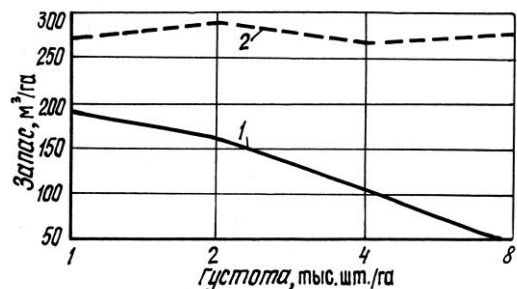
По средней высоте контрольных вариантов

Рис. 1. Средний диаметр (I) и средняя высота (II) 32-летних культур сосны с разной густотой стояния деревьев в 8-летнем возрасте: 1 – 8; 2 – 4; 3 – 2; 4 – 1 тыс. стволов на 1 га

При этом диаметр контрольных ставляет всего 13,4 ... меньше, чем при густоте 2 тыс. стволов на 1 га насаждения в конце несколько уступают

3\*

Рис. 2. Изменение запаса средней по крупности деловой (I) и ликвидной (2) древесины в культурах сосны разной густоты с применением минеральных удобрений



изреженным, что связано с наличием в последних большого количества отставших в росте древесных растений. По запасу изреженные до 1 и 2 тыс. стволов на 1 га древостои сосны также на 2 ... 6 % уступают контрольным вариантам. Однако в культурах плантационного типа резко улучшается сортиментная структура древостоев: при густоте 1 тыс. экз./га запас средней по крупности деловой древесины возрастает в 4,4 раза, при густоте 2 тыс. экз./га – в 3,7 раза по сравнению с контролем (рис. 2). При этом в контрольных насаждениях деревья в ступенях толщины 24 и 28 см еще не появились; на плантациях с густотой 2 и 1 тыс. древесных растений на 1 га их количество достигает соответственно 370 и 420 стволов на 1 га.

Примечательно, что в контрольных насаждениях, где внесение минеральных удобрений в 14-летнем возрасте способствовало увеличению прироста по запасу на 35 ... 40 % [3, с. 82], запас древостоев на удобренных и

контрольных вариантах к 32 годам практически сравнялся и отличается всего на 6 % (табл. 1). Скорее всего, это связано с интенсивным отпадом деревьев в перегушенных древостоях, при котором значительная часть накопленной в молодом возрасте биомассы попадает в почву. К тому же полученная ранее прибавка в приросте по запасу от химической мелиорации с течением времени и многократным увеличением общего запаса древостоя становится явно менее значимой.

В изреженных древостоях, где прирост по запасу в вариантах с применением минеральных удобрений в первые годы после рубки увеличился

Таблица 1

Густота 8-летних культур, тыс. экз./га	Запас ликвидной древесины, м <sup>3</sup> /га			
	Контроль	Удобрения	Гербициды	Удобрения и гербициды
1	270	271	276	280
2	250/53	253/55	280	290
4	224/54	229/63	261	268
8	278	294	–	–

Примечание. Под чертой приведен запас ликвидной древесины, вырубленной в 26-летнем возрасте при проведении второго изреживания в опытных культурах.

Таблица 2

Густота 11-летних культур, тыс. шт./га	Запас древесины, м <sup>3</sup> /га	
	ликвидной	средней деловой
1	240	138
	289	210
2	282	123
	299	165

Примечание. В числителе данные контроля; в знаменателе – биологической мелиорации.

всего на 10 ... 15 % [3, с. 82], наблюдалось интенсивное разрастание травянистой растительности, что способствовало изменению видового состава органических остатков, поступающих в почву и, как следствие, ослаблению дерново-подзолистого и усилению дернового процессов в почве. В конечном итоге это оказало позитивное влияние на ее плодородие и вызвало увеличение запаса в изреженных древостоях с химической мелиорацией к 32-летнему возрасту на 4 %. Суммарный запас 26-летних древостоев в вариантах с повторным изреживанием на 15 ... 20 м<sup>3</sup>/га выше, чем в древостоях без рубки. Это свидетельствует о позитивном влиянии данного мероприятия на продуктивность формируемых насаждений, что связано с использованием отмирающих и усилением роста оставленных деревьев.

Исследования роста древостоев, проведенные на стационаре № 2 с применением биологической мелиорации (многолетний люпин) при густоте культур 1 и 2 тыс. стволов на 1 га, показали, что их запас соответственно на 19 и 10 % выше контроля (табл. 2).

Примечательно, что на втором стационаре при селекционном изреживании культур в середине I класса возраста порубочные остатки оставлялись в люпиновом травостое для гумификации, а само изреживание и последующее увеличение интенсивности освещенности под пологом древостоев [3, с. 8] способствовало разрастанию многолетнего люпина, масса которого увеличилась в 3 – 5 раз [3, с. 40]. Все это в комплексе оказало позитивное воздействие на процессы почвообразования и способствовало заметному увеличению интенсивности роста сосны. Так, запас средней по крупности деловой древесины в вариантах с многолетним люпином при густоте 1 тыс.шт./га на 52 %, а при густоте 2 тыс.шт./га на 34 % превышает контрольные показатели. Число деревьев на 1 га в ступенях толщины 24 и 28 см в первом случае равно 500, во втором 300, что в два раза выше контрольных данных в вариантах без люпина.

Таким образом, селекционное изреживание культур сосны в середине I класса возраста в условиях свежей субори способствует увеличению среднего диаметра древостоя в 1,5 – 1,6, а средней по крупности деловой древесины в 3,7 – 4,4 раза. Длительное применение химической мелиорации в молодых плантациях к 32 годам не дает существенных положительных результатов. Более перспективным способом ускорения роста сосны в плантационных культурах на дренированных почвах, обеспечивающим увеличение запаса древостоев на 10 ... 19 % без значительных дополнительных затрат, является заблаговременное введение многолетнего люпина в комплексе с оставлением порубочных остатков в люпиновом травостое при селекционном изреживании древостоев в середине I класса возраста.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кожневников А.М.* Рубки ухода в лесах Беларуси // *Белорус. лесн. газ.* – 2000. – 3 авг. – С. 2.
2. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси. – Минск: МЛХ РБ, 1997. – 179 с.
3. *Штукин С.С.* Плантационное выращивание сосны и ели на дренированных почвах. – Минск: ИПП Минэкономки РБ, 1997. – 172 с.
4. *Kuusela K.* The boreal forests: an overview // *Unasylwa.* – 1992. – Vol. 43, N 170. – P. 3–13.
5. *Stanosz G.R., Carlson J.C.* Association of mortality of recently planted seedlings and established saplings in red pine plantations with sphaeropsis collar rot // *Plant-disease (USA).* – 1996. – Vol. 80 (7). – P. 750–753.

Белорусский государственный  
технический университет

Поступила 10.01.01

*S.S. Shtukin*

**Influence of Chemical and Biological Reclamation on Growth  
of Plantation Pine Cultures**

It is shown that biological reclamation together with leaving cutting wastes in lupine grass stand produce the most positive results in plantation growth of pine.

---

УДК 630\* 284

***В.В.Петрик***

Петрик Виталий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных работ в области прижизненного лесопользования.



### **ЛЕСОВОДСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПОДСОЧКИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ**

Рассмотрены методы повышения смолопродуктивности сосновых древостоев. Даны рекомендации по хозяйственному использованию высокосмолопродуктивных древостоев.

смолопродуктивность, подсочка леса, рубки ухода, удобрения, гидролесомелиорация.

Подсочка – одно из направлений многоцелевого использования и повышения комплексной продуктивности леса. Сырьевую базу подсочки составляют в основном сосновые древостои. Смолопродуктивность произрастающей на территории России сосны обыкновенной значительно ниже, чем у других видов сосны.

Результаты исследований смолопродуктивности сосны обыкновенной и ее индивидуальной изменчивости по выходу живицы дают возможность теоретически обосновать изменение смолопродуктивности древостоев под воздействием наиболее перспективных и практичных селекционных рубок ухода. Вырубая при уходе деревья, отстающие в росте и развитии, мы способствуем формированию древостоев с более высокими таксационными показателями, имеющими прямую связь со смолопродуктивностью деревьев.

Поскольку смолопродуктивность – признак наследственный и устойчивый, для ее повышения необходимо проводить искусственный отбор деревьев по выходу живицы. Нами установлено, что в результате рубок ухода, проведенных согласно «Наставлению по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России» (1994), через 10 ... 30 лет смолопродуктивность сосняков повышается в среднем на 10 ... 33 %, что способствует увеличению выхода живицы при подсочке.

Рубки ухода необходимо проводить в высокобонитетных сосняках травяных, кисличных, брусничных, черничных, лишайниковых полнотой 0,8 и выше, возрастом до 20 лет. При отборе необходимо оставлять здоровые полнодревесные сосны с хорошо развитой кроной, диаметром от среднего и

выше. Наибольший эффект по общей производительности, дополнительно приросту и смолопродуктивности при уходе за молодняком достигается при большой первоначальной густоте древостоя (2000 ... 3000 стволов на 1 га) и после рубок ухода сильной интенсивности (до 70 % по количеству стволов), но с оставлением в 30-летнем древостое около 1000 стволов.

Повторяемость рубок ухода зависит от лесоводственно-таксационной характеристики древостоя и взаимосвязана с интенсивностью рубки. Чем выше интенсивность отдельных приемов рубок, тем реже их повторяемость, и наоборот.

При проходных рубках интенсивностью более 35 % смолопродуктивность может и не повыситься из-за потерь от уменьшения количества деревьев и карр на единице площади.

Увеличение выхода живицы с карры и карроподновки позволяет снизить трудозатраты на добычу 1 т живицы в разреженных сосняках на 10 ... 31 % в зависимости от типа леса.

Оценка смолопродуктивности по косвенным признакам (диаметр ствола, высота дерева, объем кроны и т. д.) недостаточна. Целесообразно отбирать деревья по прямому признаку – выходу живицы.

О смолопродуктивности дерева следует судить по длине потека живицы из ранений равновеликих размеров, нанесенных с помощью специальных инструментов (трубчатый пробойник, высечка и т. п.). Для ускоренного определения смолопродуктивности нами предлагается приспособление, представляющее собой двухсторонний ударник (молоток), у которого торцовые ударные бойки выполнены плоскими с пазами трапецеидальной формы; в пазах установлены съемные ножи клиновидного сечения.

Приспособление работает следующим образом. Рабочий стругом на высоте 1,3 м срезает грубую кору, а затем ударником наносит ранение под углом 45 ° к оси ствола в верхней части подготовленного места. Через определенное время (лучше через 24 ч) можно по потеку живицы оценить способность дерева выделять живицу и отклеить низкосмолопродуктивные экземпляры.

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что решающую роль в сосняках играют уходы в период максимального отпада, когда наиболее отчетливо выявляются конкурентоспособные деревья.

В целях повышения смолопродуктивности рубки ухода можно проводить в один прием в средневозрастных сосновых древостоях не ниже III класса бонитета, полнотой 0,7 и выше, с участием сосны в составе не менее восьми единиц. Данное решение оправдано в тех случаях, когда время первого приема ухода пропущено. При этом необходимо удалить деревья других пород и деревья, не удовлетворяющие требованиям «Правил подсочки в лесах Российской Федерации» (1995). Из сосен необходимо отобрать в рубку до 40 % деревьев с пониженной смолопродуктивностью в сосняках травяной группы типов леса. В менее производительных и смолопродуктивных сосняках зеленомошной группы типов леса уход должен быть более интенсивным – до 60 % по количеству деревьев.

Более высокие показатели смолопродуктивности, по нашему мнению, можно получить при использовании двухприемных рубок, позволяющих удалить из древостоя больше низкосмолопродуктивных деревьев при сохранении требуемой густоты оставшихся.

Первый прием необходимо провести до достижения древостоем 40-летнего возраста и удалить переростки со сбежистым стволом и толстыми ветвями, деревья с несколькими вершинами или «пасынки», наклоненные и кривые, с однобокой или слаборазвитой кроной, суховершинные, поврежденные болезнями, угнетенные и прочие малоценные, деревья типа «волк», оказывающие сильное угнетающее действие на своих соседей, а также другие породы. До второго приема рубки можно оставить не более 20 % деревьев лиственных пород. Интенсивность рубок должна достигать 70 % по количеству деревьев, но оставшаяся часть древостоя должна быть не менее 1000 деревьев на 1 га в сосняках зеленомошной группы типов леса (черничные, брусничные, кисличные и т. п.) и 800 деревьев в сосняках травяной группы (травяные, папоротниковые и т. п.).

Второй прием необходимо провести в насаждениях не старше 60 лет. Отбраковке подлежат все оставшиеся деревья лиственных пород, а также сосны с механическими повреждениями коры и луба и не удовлетворяющие требованиям «Правил подсочки ...» (ослабленные вредителями, болезнями, пожарами), деревья с низкой смолопродуктивностью и отставшие в росте. Интенсивность ухода не должна превышать 50 % по количеству деревьев.

Рубки ухода, имеющие цель повысить смолопродуктивность, не требуют создания принципиально новых технологий. Их отличительной особенностью является обязательное клеймение низкосмолопродуктивных деревьев и максимальная осторожность при трелевке и валке. Без клеймения низкосмолопродуктивных деревьев уход по прямому признаку теряет всякий смысл, а повреждения при трелевке могут свести к минимуму ожидаемый результат. Даже при легком повреждении коры и луба древесина просмаливается, что в будущем отрицательно сказывается на эффективности подсочки.

При рубках ухода для целей подсочки наиболее целесообразно применять узкопосечный технологический вариант. Валку деревьев необходимо осуществлять вершиной на волок, трелевку – хлыстами или сортиментами. Трелевка сортиментами позволяет в 6–7 раз уменьшить повреждения деревьев, хотя и приводит к некоторому удорожанию работ.

Применение при селекционных рубках ухода узкопосечного технологического варианта имеет свои преимущества. Можно в значительной степени механизировать уход и в то же время уменьшить число проходов трактора по волоку, при которых повреждаются корневые системы, уплотняется почва, образуется колея, что в конечном счете ведет к потере прироста и слабому увеличению смолопродуктивности деревьев. В связи с этим наиболее перспективно применение на трелевке легких колесных многооперационных машин.

В настоящее время разреженные рубками ухода древостои передаются в подсочку. Наши исследования показывают, что основные технологические параметры подсочки – пауза вздымки, шаг подновки, глубина подновки – находятся в пределах значений, предусмотренных «Правилами подсочки ...».

Полученные данные свидетельствуют, что оптимальным является шаг подновки 12 мм и пауза вздымки 4 дн. при подсочке со стимуляторами на основе кормовых дрожжей. При подсочке без стимулятора шаг подновки может быть уменьшен до 9-10 мм, а пауза вздымки снижена до 3 дн.

При долгосрочной подсочке определяющее значение имеет обоснованный выбор ее технологической схемы, позволяющий регламентировать весь срок эксплуатации насаждения, порядок размещения карр на деревьях, расход поверхности ствола по годам, а также очередность применения способов подсочки.

Лучшие результаты получены при испытаниях технологических схем № 4 и 6 «Правил подсочки ...». Схема № 4 позволяет получить за весь период подсочки на 8 ... 10 % больше живицы, чем схемы № 3 и 5. Достаточно эффективна и схема № 6, основными преимуществами которой являются стабильный выход по годам подсочки и высокая производительность труда.

В соответствии с «Правилами ...» срок подсочки таких сосняков устанавливается до 10 ... 15 лет.

Одним из методов повышения смолопродуктивности сосняков является внесение в почву минеральных удобрений. Наши исследования в удобренных сосняках мохово-лишайниковых на Европейском Севере показали увеличение выхода живицы в среднем за пять лет до 24 %. Наилучшие результаты получены в тех вариантах опытов, где восполнялся явный недостаток одного из элементов почвенного питания древесных растений, что свидетельствует о необходимости баланса элементов почвенного питания и проведения химических анализов почв перед внесением удобрений. Чем больше диаметр дерева, тем отзывчивей оно (по выходу живицы) на внесение удобрений.

Подсочку удобренных сосняков следует проводить с применением стимуляторов смолы выделения и соблюдением основных технологических параметров в пределах «Правил подсочки ...».

Истощение традиционной сырьевой базы подсочки выдвигает необходимость изыскания сосновых древостоев, пригодных для добычи живицы. В связи с этим актуальным и своевременным является вопрос о возможности вовлечения в подсочку осушенных сосновых древостоев.

Гидролесомелиорация – один из методов увеличения смолопродуктивности сосновых древостоев. Она повышает комплексную продуктивность лесов, расширяет и улучшает лесосырьевую базу подсочки.

Проведенные нами исследования показывают, что сосняки на осушенных почвах имеют низкую смолопродуктивность (4,1 ... 5,6 г с КДП). На осушенной 90 лет назад залежи смолопродуктивность древостоев



увеличилась на 27 ... 44 %, в осушенных 18 лет назад – на 48 ... 98 % к контролю.

В осушенных сосняках в первые четыре года подсочки выход живицы увеличивается, в последующие два года стабилизируется на уровне четвертого года, на восьмой год уменьшается в 2-3 раза, дальнейшая подсочка становится нецелесообразной. Во все годы выход живицы с КДП выше в сосняках, произрастающих на переходных торфяных почвах, а с карроподновки, карры и 1 га – на низинных торфяных почвах.

Подсочка приводит к некоторому ослаблению и отпаду деревьев, но общее состояние древостоев остается удовлетворительным. За 10 лет отпад составил 10,3 ... 12,5 %. В сосняках на осушенных торфяных почвах в подсочку можно вовлекать по 200 ... 400 деревьев на 1 га.

Сосновые древостои после осушительной мелиорации несколько отличаются от древостоев на суходолах (по технологическому режиму и продолжительности эксплуатации), что надо учитывать при их подсочке.

На основании исследований и производственного опыта на осушенных землях нами установлено, что в сырьевую базу могут включаться и передаваться в подсочку здоровые спелые и перестойные древостои, осушенные не менее чем за 10 лет до начала подсочки.

Срок подсочки осушенных сосняков в лесах II и III групп устанавливается 7 лет, в том числе 4 года по технологическому режиму второй категории и 3 года – первой. При сохранении достаточно высокой смолопродуктивности и хорошем санитарном состоянии древостоя срок подсочки может быть продлен до 10 лет.

Из стимуляторов рекомендуется применять: экстракт кормовых дрожжей (ЭКД) в концентрации 0,2 ... 0,4 %, а также активизирующие добавки – 2-хлорэтилфосфоновая кислота и ее производные (0,5 ... 1,0 %), патока мальтозная (2,0 %), лимонная кислота (0,2 %). При подсочке по первой категории оптимальная пауза вздымки 4-5 дн., шаг подновки 9 ... 12 мм, по второй – 5-6 дн. и 12 ... 15 мм.

Подсочку следует проводить по измененной технологической схеме № 6, начиная с высоты 55 см, восходящим ребристым способом в течение всего срока.

При краткосрочной подсочке рекомендуется технологическая схема № 8, с высоты 210 см двухъярусными каррами в течение всех пяти лет.

Применение рассмотренных методов позволит повысить смолопродуктивность сосняков и увеличить объем добываемой живицы.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 08.04.02

*V.V. Petrik*

**Silviculture Methods of Pine Stands Tapping Intensification**

Methods of increasing resin efficiency of pine stands are dealt with. Recommendations on economic use of stands with high resin efficiency are provided.

---



УДК 630\*323

*Э.Ф. Герц, В.А. Азаренок, Н.В. Лившиц, А.В. Мехренцев*

Герц Эдуард Федорович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 30 печатных работ по технологии лесосечных работ.



Азаренок Василий Андреевич родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Хабаровский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор, проректор по учебной работе Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 100 печатных работ в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок.



Лившиц Никодим Владимирович родился в 1927 г., окончил в 1948 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 научных трудов в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок и деревообработки.



Мехренцев Андрей Вениаминович родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 50 научных трудов в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок.



## К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ПОДТРЕЛЕВКИ ПРИ НЕСПЛОШНЫХ РУБКАХ

На основе анализа структуры затрат на проведение лесосечных работ предложена методика принятия решения о целесообразности включения операции подтрелевки в состав лесосечных работ.

затраты на лесосечные работы, стоимость потерь в приросте и качестве древесины, концентрация лесоматериалов, механизмы для подтрелевки.

Общие затраты на лесосечные работы включают прямые ( $C_{пр}$ ) и косвенные ( $C_k$ ) затраты на трелевку. К косвенным относят: стоимость потерь в приросте и качестве древесины вследствие повреждения стволов, корней или почвы в процессе выполнения работ ( $C_{n.nov}$ ), а также потерь на площадях, занятых под волоки ( $C_{n.nl}$ ). Целевая функция оптимизации технологии лесосечных работ имеет вид

$$C_{пр} + C_k = C_{пр} + C_{n.nov} + C_{n.nl} \Rightarrow \min \quad (1)$$

или

$$\frac{\tilde{N}_{\dot{\delta}\delta} M_i}{P_{\dot{\delta}\delta}} + Z_1 M_{i+1} + Z_{\bar{n}\delta} S_b \Delta_{\bar{n}\delta} T \Rightarrow \min ,$$

где  $C_{mm}$  – себестоимость содержания 1 маш.-см. трелевочного трактора, р.;

$M_i$  – ликвидный объем древесины на лесосеке в  $i$ -й прием рубок, м<sup>3</sup>;

$P_{mm}$  – сменная производительность трелевочного трактора, м<sup>3</sup>;

$Z_1$  – уменьшение цены реализации древесины в результате снижения ее качества, р./м<sup>3</sup>;

$Z_{cp}$  – средняя цена заготавливаемой древесины, р./м<sup>3</sup>;

$S_b$  – непродуцирующие площади на лесосеке, га;

$\Delta_{cp}$  – годичный прирост древесины, м<sup>3</sup>/га;

$T$  – интервал между приемами рубок, лет.

Сокращение косвенных затрат может быть достигнуто в результате уменьшения доли непродуцирующих площадей, а также использования технологий, оказывающих минимальное негативное воздействие на оставляемый на дорастивание древостой. Основными факторами, определяющими потери количества и качества выращиваемой древесины, являются технологические параметры трелевочных тракторов, длины трелеваемых лесоматериалов, длина и ширина пасаки. Вместе с тем увеличение ширины пасаки оказывает влияние не только на косвенные затраты, но и приводит к возрастанию прямых затрат на трелевку по мере удаления предмета труда от волока и, соответственно, снижению производительности ( $P_{mm}$ ) за счет больших затрат времени на формирование веза трактором. Используем известное соотношение

$$P_{\dot{\delta}\delta} = \frac{QT_s}{T_p},$$

где  $Q$  – рейсовая нагрузка, м<sup>3</sup>;

$T_s$  – продолжительность смены, с;

$T_p$  – продолжительность цикла, с.

Здесь продолжительность рейса включает затраты времени на набор вoза ( $t_{nn}$ ), его разгрузку ( $t_p$ ), движение с грузом ( $t_g$ ) и в порожнем направлении ( $t_x$ ). Время набора вoза определяется не только конструктивными параметрами трелевочного трактора, такими как тип грузозахватного устройства, грузоподъемность, но и таксационными характеристиками насаждения и технологическими параметрами рубки.

Многообразие факторов можно свести к одному показателю: концентрации предмета труда вдоль волока для каждого типа трелевочных тракторов. В общем случае это объем, приходящийся на единицу длины волока. Однако такая формулировка справедлива только в том случае, если лесоматериалы, подлежащие трелевке, достигаемы для грузозахватного приспособления трелевочного трактора. Рассредоточенность по ширине пасеки делает невозможным их захват манипуляторными трелевочными тракторами и пачкоподборщиками. Для трелевочных тракторов с канатно-чокерной оснасткой в этом случае необходимо разделить операции формирования вoза ( $t_{nn}$ ) на операцию подтрелевки ( $t_{mn}$ ) лесоматериалов к волоку и операцию набора вoза ( $t_n$ ), так как подтрелевку следует осуществлять поштучно во избежание повреждения деревьев, оставляемых на дорасщивание. Дополнительная установка лебедок на манипуляторные трелевочные тракторы и пачкоподборщики, которую делают некоторые зарубежные фирмы, позволит последовательно выполнять операции подтрелевки и трелевки. Время подтрелевки лесоматериалов трелевочным трактором в объеме трелеваемого вoза определим по формуле

$$t_{mn} = \frac{Qp}{q} \left( \frac{2l_n}{v_n + v_d} + t_{np} + t_{ot} \right) + \frac{Qp}{k} t_{c.c}, \quad (2)$$

где  $p$  – доля подтрелевываемой древесины;

$q$  – объем древесины, подтрелевываемой за один прием, м<sup>3</sup>;

$l_n$  – среднее расстояние подтрелевки, м;

$v_n, v_d$  – средние скорости подтрелевки и доставки прицепного устройства на полупасеку, с;

$t_{np}, t_{ot}$  – затраты времени на прицепку и отцепку подтрелевываемого пакета, с;

$k$  – средний объем древесины, подтрелевываемой с одной стоянки, м<sup>3</sup>;

$t_{c.c}$  – время, затрачиваемое при переезде на смежную стоянку, с.

Производительность трелевочного трактора с учетом изложенного составит

$$P_{\delta\delta} = \frac{QT_{ci}}{Qp \left[ \frac{1}{q} \left( \frac{2l_n}{v_n + v_d} + t_{np} + t_{ot} \right) + \frac{1}{k} t_{c.c} \right] + t_n + t_p + t_g + t_{\delta}}. \quad (3)$$

Рост прямых затрат на трелевку при этом пропорционален увеличению времени цикла. Однако использование на подтрелевке единичных лесоматериалов мощных трелевочных тракторов крайне нерационально вследствие их незначительной загрузки.

Дополнительное включение в систему лесосечных машин механизма для подтрелевки и формирования погрузочных пакетов позволит повысить производительность трелевочного трактора при прочих равных условиях. Целевая функция в этом случае имеет вид

$$\frac{\tilde{N}_{\delta\delta} M_i}{P_{\delta\delta}} + \frac{C_{nm} M_i p}{P_{nm}} + Z_1 M_{i+1} + Z_{n\delta} S_b \Delta_{n\delta} T \Rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $C_{nm}$ ,  $P_{nm}$  – соответственно сменная себестоимость и производительность механизма на подтрелевке,

$$P_{nm} = \frac{q T_s}{\frac{2l_n}{v_n + v_d} + t_{np} + t_{ot} + \frac{q}{k} t_{c.c}}. \quad (5)$$

При равных косвенных затратах на трелевку целесообразность включения того или иного механизма для подтрелевки в систему лесосечных машин может быть определена из условия меньших прямых затрат по комплексу операций подтрелевка – трелевка такой системы лесосечных машин по сравнению с выполнением комплекса этих операций одной машиной, с учетом формул (2)–(5):

$$\frac{1}{Q} C_{nm} M_i \left\{ \frac{1}{q} \left( \frac{2l_n}{v_n + v_d} + t_{np} + t_{ot} \right) + \frac{1}{k} t_{c.c} \right\} + t_n + t_p + t_g + t_x \left\} > \frac{\tilde{N}_{\delta\delta} M_i}{Q} (t_n + t_p + t_x + t_g) + \frac{C_{nm} M_i p}{q} \left( \frac{2l_n}{v_n + v_d} + t_{np} + t_{ot} + \frac{q}{k} t_{c.c} \right).$$

В общем случае это решение принимают сравнивая суммы прямых и косвенных затрат на трелевку древесины.

#### Выводы

1. Включение в систему лесосечных машин оборудования для подтрелевки древесины должно осуществляться на основании учета прямых и косвенных затрат на выполнение комплекса лесосечных работ.

2. Приведенные формулы могут быть использованы для выбора рационального технологического процесса лесосечных работ в различных лесорастительных условиях.

3. Предложенный подход к выбору структуры технологического процесса исключает нерациональное использование трелевочных тракторов

---

---

на подтрелевке и необоснованное включение этой операции в состав технологического процесса.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 08.10.01

*E.F. Gerts, V.A. Asarenok, N.V. Livshits, A.V. Mekhrentsev*

**To Question of Expediency of Using Hauling Operations in Non-clear  
Cutting**

Based on the analysis of breakdown of costs for cutting operations a technique of making decision on expediency of including hauling into cutting operations is suggested.



УДК 625

### ***Н.Н. Буторин***

Буторин Николай Николаевич родился в 1923 г., окончил в 1951 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета. Имеет около 40 печатных работ.



## **ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ КУРТИН ЛЕСА**

Предложен алгоритм программы и пример расчета конфигурации оптимальной транспортной сети для освоения нескольких изолированных куртин леса.

транспорт, лесной

В процессе освоения лесных массивов по разным причинам могут оставаться неосвоенными отдельные изолированные куртины леса. Для их освоения требуется строить специальную дорожную сеть, оптимальная конфигурация которой зависит от стоимости строительства дорог, стоимости и объема вывозки древесины. Соответствующие исследования можно выполнить с использованием современных компьютеров.

Программа разработана на кафедре промышленного транспорта АГТУ. Она предусматривает проведение вычислений по следующему алгоритму:

- 1) ввести координаты центров тяжести куртин. Начало координат – пункт примыкания сети;
- 2) ввести стоимость строительства 1 км дороги и перевозки 1 м<sup>3</sup> древесины на расстояние 1 км;
- 3) пронумеровать куртины в порядке возрастания их расстояний от пункта примыкания;
- 4) соединить каждую куртину прямой линией с ближайшей к ней куртиной с меньшим номером. Получается сеть дорог минимального общего протяжения, которую принимают за исходную для дальнейших расчетов;
- 5) задать для каждой куртины ус, соединяющий центр ее тяжести с сетью. Предварительно координаты точек примыкания усов к магистрали совместить с координатами центров тяжести куртин;
- 6) принять за целевую функцию сумму затрат на строительство дорог и вывозку леса;
- 7) для нахождения минимума целевой функции использовать один из известных методов оптимизации, варьируя координаты точек примыка-



ния усюв к магистрали. При этом найти сеть, соответствующую минимуму целевой функции.

В программе использован метод покоординатного спуска. В расчетах не учитывают рельефные, гидрогеологические и лесохозяйственные условия местности.

Приводим пример расчета.

На рис. 1 числа в кружках обозначают ликвидный запас древесины в куртине, тыс. м<sup>3</sup>. Здесь приняты стоимость строительства 1 км дороги – 200 тыс. р. и вывозки 1 м<sup>3</sup> древесины на расстояние 1 км – 8 р. Координаты центров куртин относительно пункта примыкания магистралей приведены в таблице.

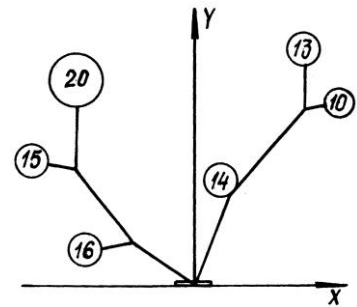


Рис. 1

Ликвидный запас, тыс. м <sup>3</sup>	16	15	20	14	13	10
Координаты куртин:						
X	-2300	-3000	2300	300	1000	-2200
Y	600	2100	3000	1600	4000	3500

4

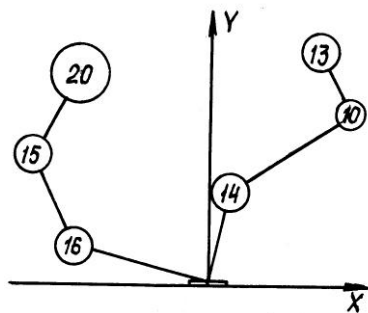


Рис. 2

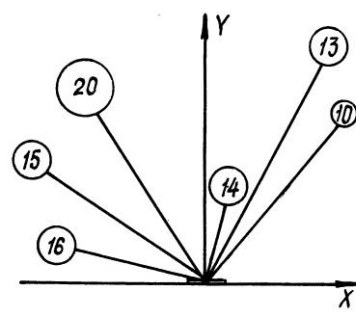


Рис. 3

На рис. 2 показана сеть, рассчитанная без учета расходов на перевозку, т. е. соответствующая минимуму протяженности дорог. Рис. 3 отвечает случаю, когда стоимость строительства дорог пренебрежимо мала по сравнению со стоимостью вывозки древесины.

Программа может быть использована в лесозаготовительных предприятиях, проектных организациях при разработке транспортной сети освоения лесных массивов.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 24.04.01

*N.N. Butorin*

**Transport Network for Development of Isolated Forest Curtains**

The program algorithm and example of configuration calculating for optimal transport network are suggested for the development of several isolated forest curtains.

---

УДК 630\*308

**Ю.А. Ширнин, К.П. Рукомойников**

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 около 160 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



Рукомойников Константин Павлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. Марийский государственный технический университет, аспирант МарГТУ. Имеет 15 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



**ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИН ДЛЯ ТРЕЛЕВКИ СОРТИМЕНТОВ**

Предложены технологические схемы движения сортиментовоза при трелевке лесоматериалов, позволяющие сократить перемещения сортиментовозов по пасечным волокам на 30 ... 50 %, повысить их производительность и снизить техногенное воздействие на лесную среду.

технологическая схема, схема движения лесозаготовительных машин по лесосеке, сортиментовоз, сортименты, пасечный волок, трелевка сортиментов в погруженном положении.

Объем переместительных операций и холостых движений трелевочной машины по лесосеке весьма велик. В нашу задачу входил выбор целесообразной технологической схемы разработки лесосеки (делянки), позволяющий сократить энергетические и другие затраты на эти перемещения, повысить производительность машин.

Технология разработки лесосеки определяется такими элементами, как схемы расположения трелевочных волоков и движения лесозаготовительных машин по лесосеке. Они различаются в зависимости от вида рубок, ликвидного запаса древесины на территории осваиваемого участка лесного фонда, рельефа местности, почвенно-грунтовых условий, размеров лесосек.

В настоящее время наиболее распространены параллельная (рис. 1, а) и перпендикулярная (рис. 1, б) схемы размещения трелевочных волоков на лесосеке. Ниже рассматривается вариант, когда трелевка

древесины осуществляется поочередно к двум погрузочным пунктам, расстояние между которыми равно длине ленты набора пачки лесоматериалов (рис. 1, в); схема размещения волоков с погрузкой древесины широким фронтом (рис. 1, з).

По этим схемам сортиментовоз, перемещаясь по пасечному волоку, заезжает для набора пачки в глубь лесосеки и при движении к месту разгрузки у лесовозной дороги собирает и укладывает сортименты на грузовую платформу (рис. 2, а), сортируя их. В зависимости от числа сортотипов, выпиливаемых на лесосеке и погружаемых на грузовую платформу за один проход, оператор должен определить начало набора пачки, чтобы в процессе движения по пасеке в направлении магистрального волока сформировать полногрузную пачку лесоматериалов.

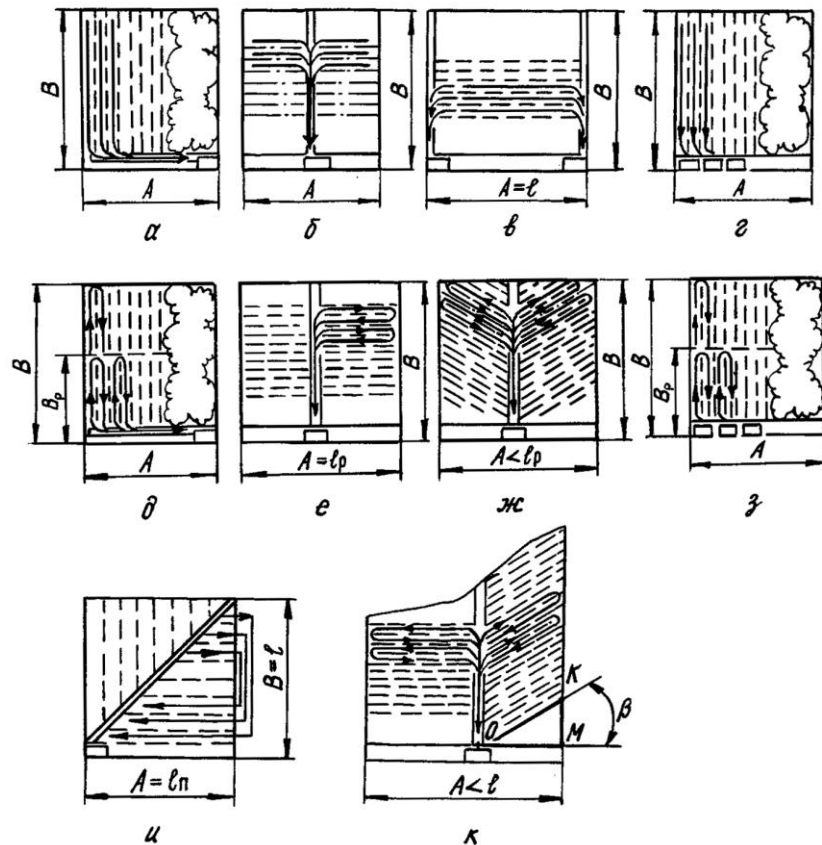


Рис. 1. Технологические схемы размещения волоков на лесосеке при трелевке сортиментов

Недостатком данных схем являются значительные перемещения по лесосеке при сборе лесоматериалов. Многократные проходы машины по

одному и тому же участку пасечного волока приводят к уплотнению и разрушению верхнего слоя почвы.

Особенность работы сортиментовозов заключается в их большей маневренности по сравнению с машинами, трелюющими пачки хлыстов и деревьев, поэтому они могут осуществлять повороты и перемещаться с одной пасеки на другую в процессе набора пачки сортиментов. В связи с этим предлагаются технологические схемы (рис. 1,  $\delta - \text{и}$ ), позволяющие при небольшом запасе ликвидной древесины на лесосеке, а также в случае сортировки лесоматериалов в процессе сбора пачки значительно сократить перемещения сортиментовозов. На пасеках на расстояниях  $B_p$  от магистрального волока, кратных половине длины ленты набора пачки лесоматериалов, трелеваемых сортиментовозом в погруженном положении, выделяют места для разворота и перехода машины на смежную пасеку. Эти места могут преду-

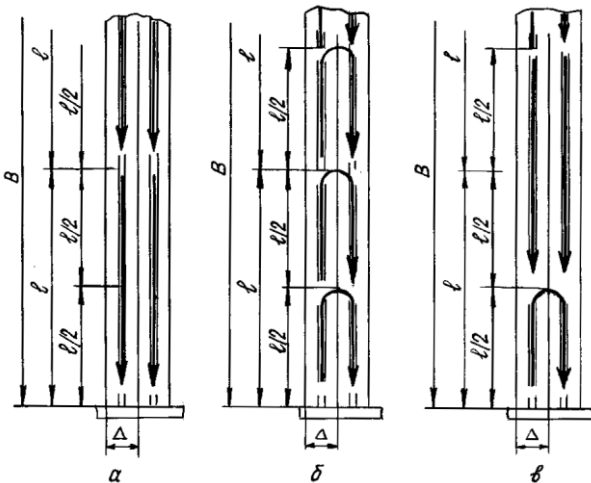


Рис. 2. Технологические схемы перемещения сортиментовоза по лесосеке

считываться либо на всем протяжении пасечного волока через равные расстояния друг от друга (рис. 2,  $\delta$ ), либо только при первом заезде машины на волок (рис. 2,  $\text{в}$ ). Пачку сортиментов собирают с территории двух смежных пасек при движении сортиментовоза в прямом и обратном направлениях.

На рис. 1,  $\delta$  представлена схема размещения трелевочных волоков на лесосеке, в которой использован данный принцип движения машины для трелевки сортиментов. Подробнее технологическая схема разработки лесосеки показана на рис. 3. Лесосеку  $10$  разбивают по необходимости на делянки. Подготовительные работы включают в себя разметку и разработку погрузочного пункта и магистрального волока  $1$ . Делянку разбивают на пасеки длиной  $B_n$  с границами  $\delta$ . На расстояниях  $B_p$  от магистрального волока, кратных половине длины ленты набора пачки сортиментов, предусматривают места  $7$  для разворота и перехода машины на смежную пасеку:

$$B_{\delta} = p \frac{l}{2} = \frac{10^4 M}{2qk_i \Delta \Omega},$$

где  $p$  – целочисленный ряд, продолжительность которого зависит от длины пасеки (1, 2, 3, ...,  $n$ );

$l$  – длина ленты набора пачки сортиментов, м;

$M$  – объем трелюемой пачки, м<sup>3</sup>;

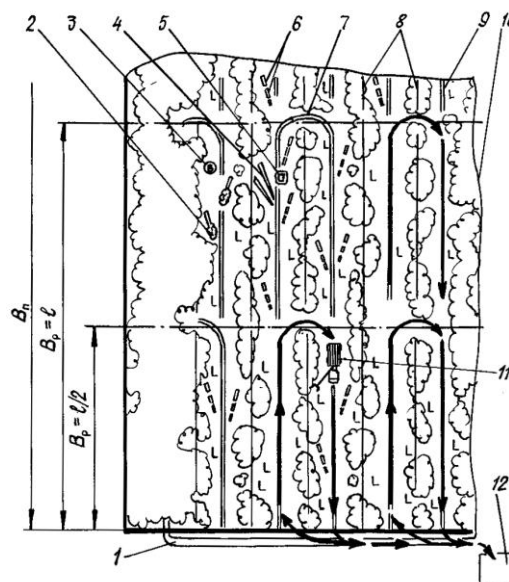
$q$  – запас древесины, м<sup>3</sup>/га;

$k_i$  – доля вырубаемого компонента (0,2 ... 1);

$\Delta$  – ширина пасеки, м;

$\Omega$  – доля лесоматериалов определенной сортотруппы, например хвойного пиловочника.

Рис. 3. Технологическая схема разработки лесосеки с разделением пасек на участки длиной, равной половине длины ленты набора пачки сортиментов



Посередине пасеки прорубают пасечный волок 9. Вальщик 3 валит деревья 2 под углом к оси пасечного волока. После валки деревьев на первой пасеке вальщик переходит на следующую, разработка которой начинается с прорубки волока шириной 5 м. В это время на первой пасеке моторист бензопилы 5 обрезает сучья деревьев и раскряжевывает хлысты 4 на сортименты 6. Трелевка лесоматериалов на делянке начинается с ближайших к погрузочному пункту пасек. Сортиментовоз 11, двигаясь по магистральному волоку, заезжает на четную от погрузочного пункта пасеку и, двигаясь по пасечному волоку, собирает пачку. Доехав до предусмотренного места разворота и набрав к этому времени половину расчетной пачки сортиментов, машина поворачивает в сторону погрузочного пункта, переезжает на смежную пасеку и, двигаясь в противоположном направлении, продол-

жает сбор пачки. Выехав на магистральный волок, она трелюет сортименты к погрузочному пункту 12 и укладывает их в штабель.

Перемещаясь по лесосеке согласно схемам, представленным на рис. 1 (е, ж), за один цикл работы машина обрабатывает две ленты и, выезжая на магистральный волок, возвращается к погрузочному пункту по кратчайшему расстоянию. Данные схемы предполагают размещение магистрального волока перпендикулярно лесовозной дороге. Они эффективны на лесосеках, вытянутых в сторону от лесовозной дороги. Схема рис. 1, ж может применяться на лесосеках с малым запасом ликвидной древесины при валке, обрезке сучьев и раскряжевке бензопилами. Чем меньше угол между магистральным и пасечными волоками, тем удобнее выход пакетировочно-трелевочной машины с пачкой на волок, но тем чаще нужно прорубать магистральные волоки.

Схема рис. 1, з в отличие от схемы рис. 1, д предусматривает погрузку заготовленного леса широким фронтом.

Схема рис. 1, и может использоваться на делянках, ширина которых не превышает длины ленты набора пачки сортиментов. В этом случае лесосеку разбивают на делянки длиной, равной длине ленты набора пачки, а трелевочный волок прокладывают по диагонали. При холостом ходе сортиментовоз перемещается по магистральному волоку до наиболее удаленной от погрузочного пункта ленты, на которой еще не осуществлена трелевка лесоматериалов, и, двигаясь по ней, начинает собирать пачку сортиментов. Сбрав древесину с отдаленной ленты, машина переходит на ленту, ближайшую к погрузочному пункту, к которому трелюет пачку сортиментов.

При непрямоугольной форме осваиваемых выделов можно применять комбинированные схемы трелевки. На рис. 1, к изображена делянка в форме трапеции, разрабатываемая по двум схемам (рис. 1, е, ж). Данный вариант может быть использован в случаях, когда расстояние между погрузочными пунктами меньше длины ленты набора пачки сортиментов. Вследствие разницы запасов ликвидной древесины в левой и правой частях делянки погрузочный пункт смещается в сторону от ее центра. Угол между пасечным и магистральным волоками зависит от размеров делянки и длины ленты набора пачки сортиментов:

$$\cos \beta = \frac{OM}{OK} = \frac{2Aq\Delta\Omega}{10^4 M};$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{2Aq\Delta\Omega}{10^4 M}\right).$$

Для сравнения предложенных схем был проведен расчет трудозатрат и транспортных перемещений сортиментовоза в процессе разработки делянки. Согласно полученным данным, снижение трудозатрат (чел. · ч) на трелевку древесины с делянки площадью  $S$  по схемам рис. 2 (б, в) по сравнению с наиболее распространенной в настоящее время схемой рис. 2, а можно определить по формулам:

для схемы рис. 2, б

$$T_{\zeta} = \frac{lS}{2 \cdot 3600 v_x B_r \Delta\Omega};$$

для схемы рис. 2, в

$$T_{\zeta} = \frac{S \cdot (v_{\dot{a}} - v_x)}{3600 \cdot 4v_{\dot{a}} v_x \Delta\Omega}.$$

При этом перемещения машины (м) сократятся по сравнению с таковыми по схеме рис. 3, а на величину, равную:

для схемы рис. 3, б

$$l_o = \frac{lS}{2B_r \Delta\Omega};$$

для схемы рис. 3, в

$$l_o = \frac{S}{2\Delta\Omega},$$

где  $v_x$ ,  $v_r$  – скорости движения в холостом и грузовом направлениях, м/с.

Например, проводится рубка на лесосеке площадью 10 га, длина ленты набора пачки сортиментов 120 м, ширина 14 м, средние скорости движения машины при холостом и грузовом ходе соответственно 1,5 и 1,2 м/с, длина пасеки 175 м, сортировка осуществляется на два компонента.

В результате расчета по предложенным формулам можно отметить, что в случае использования данных схем возможно снижение трудозатрат на величину:

по схеме рис. 3, б

$$T_{\zeta} = \frac{120 \cdot 10^5}{2 \cdot 3600 \cdot 1,5 \cdot 175 \cdot 14 \cdot 0,5} = 1 \text{ ÷ ä. . ÷};$$

по схеме рис. 3, в

$$T_{\zeta} = \frac{10^5 \cdot (1,2 - 1,5)}{4 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 14 \cdot 3600 \cdot 0,5} = 1,2 \text{ ÷ ä. . ÷}.$$

Перемещения машины в процессе работы на данной лесосеке сократятся по сравнению со схемой рис. 3, а на величину, равную:

по схеме рис. 3, б

$$l_o = \frac{120 \cdot 10^5}{2 \cdot 175 \cdot 14 \cdot 0,5} = 4898 \text{ м};$$

по схеме рис. 3, в

$$l_o = \frac{10^5}{2 \cdot 14 \cdot 0,5} = 7143 \text{ м}.$$

Таким образом, при выборе рациональной технологической схемы движения сортиментовоза появляется возможность сократить до 50 % все перемещения машины по пасечным волокам, которые находятся в худшем состоянии, чем магистральные, что усложняет трелевку лесоматериалов. За счет уменьшения холостых проходов по территории лесосеки при сборе и



---

трелевке пачки сортиментов сокращаются энергетические и другие затраты на эти движения, увеличивается производительность техники и снижается техногенное воздействие на лесную среду.

Марийский государственный  
технический университет  
Поступила 06.05.02

*Yu.A. Shirnin, K.P. Rukomojnikov*

**Technology of Felling Site Development using Machines  
for Shortlog Skidding**

The technological charts of shortlog truck movement at skidding forest products is suggested. The charts allow reduce shortlog trucks movement along the skidding road on 30-50%, increase their productivity and reduce their technological impact on the forest environment.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093.05

**Ю.Б. Левинский, Г.Н. Левинская**

Левинский Юрий Борисович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и специальной обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных трудов в области склеивания и комплексной переработки древесины, организации малых предприятий и производства столярно-строительных изделий.



Левинская Галина Николаевна родилась в 1951 г., окончила в 1973 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 50 печатных трудов в области комплексного использования древесины на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, разработки ресурсосберегающих технологий в лесопилении, проектирования универсальных производств в лесном комплексе.



### РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НОВЫХ СПОСОБОВ РАСКРОЯ ТОНКОГО ПИЛОВОЧНОГО СЫРЬЯ

Проведено исследование двух способов раскроя тонкого пиловочника на математических моделях с обработкой в прикладном пакете Math Cad; определены наиболее рациональные варианты распиловки бревен диаметром до 18 см на секторные и трапецевидные заготовки для производства клееных досок.

рациональное комплексное использование сырья, новые способы раскроя, тонкий пиловочник.

Исследования, проведенные на некоторых предприятиях Урала [2], показали, что на лесопильных заводах нецелесообразно перерабатывать тонкие хлысты, так как выход стандартного пиловочного сырья из них очень мал. Даже по первой группе качества для диаметра 14 см он составляет 15,0 %, для 16 см – 54,8 %, для 18 см – 80,5 %. По третьей группе качест-

ва для сосновых хлыстов средний выход пиловочника не превышает 10 ... 38 %.

Для заводов любого местоположения и возможностей вполне перспективна технология изготовления клееных пиломатериалов, блоков и щитов из заготовок, получаемых специальной распиловкой бревен малого диаметра или переработкой кусковых отходов древесины. По зарубежным данным сырые кусковые отходы в лесопилении дешевле самых низкосортных пиломатериалов в 2–3 раза, опилки – в 6–8 раз [1]. Для отечественных предприятий эта разница еще больше.

С увеличением объемов потребления древесины в производстве изделий столярно-строительного назначения определенный интерес представляют сборно-клееные материалы из массива. В основе их получения заложены принципиально новые методы деления бревен на заготовки и соединения деталей между собой в конструкции [3]. Склеивание по длине, ширине или толщине при специальной распиловке и подготовке древесины позволяет не только уменьшить появление тонких узких досок, но и обеспечивает производство пилопродукции любых сечений и форматов. Еще один плюс – высокое качество клееных материалов и заготовок, так как детали в конструкции подбираются взаимно симметричными по состоянию древесины, направленности волокон и расположению соединений. Для клееной пилопродукции такие сортименты приемлемы, но требуют распиловки по «особым» схемам.

Целью настоящей статьи является разработка и оценка специальных схем распиловки тонкомера при изготовлении сборно-клееных материалов. Основные схемы раскроя приведены на рис. 1.

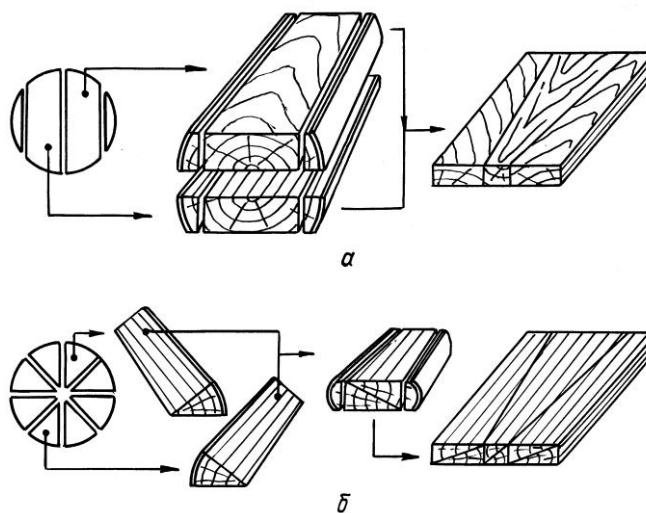






Рис. 1. Схемы раскроя тонких бревен и получения клееных досок: *а* – две доски сечением в виде прямоугольника или трапеции; *б* – секторный способ

Таблица 1

Способ раскроя	Схема	Расчетная формула объемного выхода пилопродукции
1		$V_{\text{п}}(h_{\delta}) = \frac{Lh_{\delta}\sqrt{25d^2 - c^2}}{2,5 \cdot 10^3 V_{\text{а\delta}}}$
2		$V_{\text{п}}(h_y) = \frac{Lh_{\delta}(\sqrt{25d^2 - c^2} + \sqrt{25D^2 - c^2})}{5 \cdot 10^3 V_{\text{а\delta}}}$
3		$V_{\text{п}} = \frac{Lh_{\delta}(2\sqrt{25d^2 - c^2} + \sqrt{pk(pk - 20d) + 100d^2})}{1 \cdot 10^4 V_{\text{а\delta}}}$
4		$V_{\text{п}} = \frac{Lh_{\delta}(2\sqrt{25d^2 - c^2} + 10(D - d) + \sqrt{\delta k(\delta k - 20d) + 100d^2})}{1 \cdot 10^4 V_{\text{а\delta}}}$

Обозначения к табл. 1:

$$K = \frac{5d - \sqrt{25d^2 - c^2}}{c} - \text{приведенный расчетный коэффициент;}$$

$D$  и  $d$  – соответственно комлевой и вершинный диаметры бревна, см;

$h_y$  – толщина пиломатериалов с учетом усушки, мм;

$p$  – ширина пропила, мм;

$L$  – длина бревна, м;

$V_{\text{бр}}$  – объем бревна, м<sup>3</sup>;

$c = h_y + 0,5p$ .

Рис. 2. Расчетные схемы раскроя тонкомера на две доски:  $a$  – схема  $A$ ;  $b$  – схема  $B$  (табл. 1)

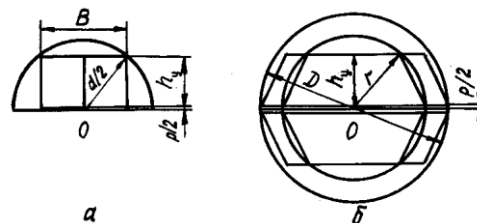


Таблица 2

Способ раскроя	Показатели объемного использования сырья диаметром, см				
	8	10	12	14	18
1	27,5/44,1	34,6/47,6	41,6/49,3	48,7/49,8	62,8/52,7
2	31,3/59,8	38,6/60,8	46,0/61,8	53,5/61,4	67,8/62,1
3	33,6/57,1	42,3/61,4	50,9/63,9	59,6/64,6	76,9/68,3
4	34,8/70,8	43,5/73,1	52,2/74,8	61,0/74,7	78,3/76,6

В табл. 1 дан анализ способов раскроя и обработка параметров в прикладном пакете Math Cad с целью определения максимально возможного объемного выхода пилопродукции  $V_{\text{пн}}$  и соответствующих им толщин  $h$  досок (заготовок для склеивания). В табл. 1 и на рис. 2 приведены расчетные формулы для раскроя тонкомерных бревен на две доски, имеющие в сечении прямоугольник ( $A$ ) или трапецию ( $B$ ). Рассмотрены варианты с сохранением в заготовках сбежистой зоны или с обрезкой досок по их ширине в вершинной части. При получении досок, толщина которых соответствует стандартным значениям, показатели объемного использования сырья несколько уменьшаются.

Результаты расчетов  $h_y$  (числитель) и  $V_{\text{пн}}$  (знаменатель) для бревен длиной 4 м по четырем способам раскроя (из табл. 1) представлены в табл. 2.

Аналогичные расчетно-математические исследования с использованием прикладного пакета Math Cad проведены и для секторного способа раскроя бревен на заготовки клееных материалов (рис. 3).

Суммарный объемный выход секторных заготовок для схемы 1 (рис. 3,  $a$ ) определяют по формуле

$$V_{\text{нâé}} = \frac{d}{2} \sin \alpha \frac{d}{2} \cos \alpha \frac{1}{2} Ln = \frac{d^2}{16} \sin \frac{4\pi}{n} nL.$$

С учетом объема потерь древесины в опилки объемный выход составит

$$V_{\text{ii}}^{(1)}(n) = \frac{\left( \frac{d^2 L}{1600} \sin \frac{4\pi}{n} n - \frac{(d+D)Lp}{4000} n \right)}{V_{\text{âð}}},$$

где  $n$  – число вырабатываемых секторов,  $n = 6, 8, 10, \dots$

Для схемы 2 (рис. 3,  $b$ ) объемный выход секторных заготовок определяют по формуле

$$V_{\text{ii}}(n) = \frac{\left( \frac{d^2 L}{800} \sin \frac{2\pi}{n} n - \frac{(d+D)Lp}{4000} n \right)}{V_{\text{âð}}}.$$

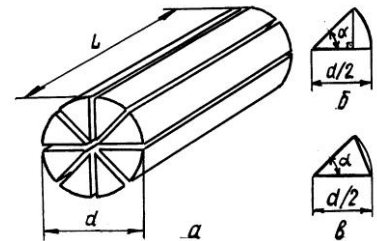


Рис. 3. Расчетные схемы раскроя бревен секторным способом:  $a$  – схема 1;  $b$  – схема 2

Таблица 3

Схема раскряя	Диаметр бревна, см	Объёмный выход пилопродукции, %, при раскрое на <i>n</i> секторов					
		6	8	10	12	14	16
1	8	<u>21,6</u>	<u>34,9</u>	<u>40,9</u>	<u>43,2</u>	<u>43,7</u>	<u>43,1</u>
		20	27	31	33	35	36
	12	<u>27,1</u>	<u>42,9</u>	<u>50,5</u>	<u>54,2</u>	<u>55,8</u>	<u>56,2</u>
		28	40	48	51	53	54
	18	<u>30,9</u>	<u>48,3</u>	<u>57,1</u>	<u>61,7</u>	<u>64,2</u>	<u>65,3</u>
		43	63	71	76	80	82
2	8	<u>51,3</u>	<u>53,9</u>	<u>53,7</u>	<u>52,5</u>	<u>50,6</u>	<u>48,4</u>
		33	27	22	20	16	14
	12	<u>59,9</u>	<u>63,8</u>	<u>64,7</u>	<u>64,4</u>	<u>63,4</u>	<u>62,1</u>
		51	40	34	28	25	22
	18	<u>65,6</u>	<u>70,5</u>	<u>72,2</u>	<u>42,5</u>	<u>72,2</u>	<u>71,6</u>
		76	63	52	43	38	33

Оценочные показатели раскря тонких бревен длиной 4 м на секторные заготовки для клееных досок приведены в табл. 3, там же, в знаменателе, приведены приблизительные значения толщин (мм) получаемых клееных пиломатериалов.

#### Выводы

1. Раскря тонкомера с получением двух трапециевидных досок (заготовок для склеивания по кромкам) увеличивает объемный выход продукции на 10 ... 30 % по сравнению с традиционными способами распиловки бревен вразвал и с брусковой.

2. Раскря бревен малого диаметра на секторные заготовки эффективен по специфике распиловки (радиальная), показателям объемного выхода (40 ... 65 %) и возможности получения высококачественной клееной пилопродукции достаточно широкого ассортимента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снягина Л.Н. Объемный и посортный выход пиловочника из сосновых хлыстов на лесопильных заводах Урала // Механическая обработка древесины. – 1977. - №4. – С.14-15.

2. Снягина Л.Н., Тиканова М.В. Объемный и посортный выход обрезных пиломатериалов из сосновых хлыстов на лесопильных заводах // Механическая обработка древесины. – 1977. – № 4. – С. 12–13.

3. Шатилов Б.А. Новая техника и технология в лесопильно-деревообрабатывающей промышленности // Обзор. информ. – 1983. – Вып.7. – 41.

Уральский государственный  
лесотехнический университет

Поступила 27.04.02

---

*Yu. B. Levinsky, G.N. Levinskaya*

**Estimated-analytical Assessment Methods of Cutting Modes for Thin Sawn Wood**

Two modes of thin sawn woodcutting are analyzed based on mathematical models with processing in Math Cad application package. The most rational options are determined for cutting logs with up-to-18 cm diameter into segment and tapered pieces for glued laminated board production

---

УДК 630\*841.1

***Ю.А. Варфоломеев, М.А. Амбросевич***

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.



Амбросевич Мария Адольфовна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Поморский государственный университет, старший преподаватель, и.о. заведующего кафедрой математики Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 публикации в области алгебраических систем и математического моделирования процессов биопоражения древесины.



**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ АНТИСЕПТИКОВ ПО КРИТЕРИЮ СТОИМОСТИ С УЧЕТОМ ЗАЩИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

На основе алгоритма симплекс-метода разработана математическая модель оптимизации рецептуры многокомпонентных антисептиков с учетом их стоимости и защищающей способности; подобрана оптимальная рецептура трехкомпонентного антисептика на базе соединения четвертичного аммония.

антисептик, рецептура, испытания, содержание компонентов, оптимизация.

Рецептуры новых антисептиков с улучшенными эксплуатационными и экологическими свойствами создают на основе результатов микологических испытаний деревянных образцов по методике лаборатории защиты древесины ЦНИИМОД [6], разработанной Т.М. Поромовой.

Опыты проводят на образцах размером  $5 \times 15 \times 180$  мм, изготовленных из заболонной древесины сосны. Их опускают в водные растворы разрабатываемых антисептиков, подсушивают и инфицируют суспензией спор чистых культур плесневых и деревоокрашивающих грибов, которые наиболее распространены на территории России. Инфицированные образцы выдерживают в течение 50 сут в герметичных эксикаторах при комнатной температуре. Через каждые 10 сут производят визуальную оценку обрастания их поверхности грибами. Обрастание выражают в долях от общей площади поверхности образца.



При создании новых многокомпонентных антисептиков (препаратов) на основе явления синергизма основной задачей является подбор оптимального соотношения ингредиентов.

Цель настоящей работы – решая задачу математического программирования с использованием аппроксимации экспериментальных данных по оценке биологической активности многокомпонентного препарата с различным сочетанием ингредиентов, подобрать их оптимальное соотношение с учетом стоимости и защищающей способности.

Результаты лабораторных микологических испытаний [6] трехкомпонентного препарата на основе соединения четвертичного аммония в сочетании с двумя другими составляющими представлены в табл. 1.

Рассмотрим общую задачу оптимизации рецептуры препарата, состоящего из  $n$  компонентов  $k_1, k_2, \dots, k_n$ . Состав препарата характеризуется долевым содержанием  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ингредиентов. При этом должны выполняться следующие ограничения:  $m_j \leq x_j \leq M_j, j = \overline{1, n}$  ( $m_j, M_j$  – соответственно минимально и максимально допустимое содержание соответствующего компонента  $k_j$  в препарате). Кроме того, должно соблюдаться условие

$$\sum_{j=1}^n x_j = 1.$$

Таблица 1

Порядковый номер рецептуры	Соотношение компонентов в антисептике			Сохранность поверхности образцов через период времени, сут				
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	10	20	30	40	50
1	0,640	0,110	0,250	0,970	0,910	0,890	0,870	0,860
2	0,620	0,120	0,260	0,990	0,950	0,880	0,875	0,870
3	0,650	0,110	0,240	0,965	0,930	0,875	0,865	0,855
4	0,670	0,100	0,230	0,970	0,910	0,875	0,825	0,810
5	0,600	0,130	0,270	0,955	0,900	0,850	0,810	0,790
6	0,680	0,090	0,230	0,860	0,840	0,820	0,800	0,780
7	0,640	0,100	0,260	0,960	0,920	0,875	0,860	0,850

Обозначим  $c_1, c_2, \dots, c_n$  – цена за 1 кг компонентов  $k_1, k_2, \dots, k_n$ . Тогда стоимость 1 кг многокомпонентного антисептика составит

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

Защищающую способность антисептиков с различными рецептурами определяют в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_m$ . Для всех препаратов в момент времени  $t = 0$  выполняется условие  $y = 1$  ( $y$  – показатель сохранности). Рецептуры антисептиков характеризуются разными значениями показателя  $y$  ( $0 \leq y \leq 1$ ). Обозначим  $b_i$  – минимально допустимая сохранность препарата в момент времени  $t_i, i = \overline{1, m}$ .

С учетом всех указанных выше ограничений необходимо составить рецептуру препарата, имеющего минимальную стоимость.

Поставленная задача носит одновременно динамический (временной) и оптимизационный характер. Для ее решения в момент времени  $t$  используем методы математического программирования [2–4].

При построении модели исходим из того, что сохранность антисептированного деревянного образца зависит от факторов  $x_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  и времени, прошедшего с момента начала испытаний (инфицирования грибами). Таким образом,

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n, t).$$

Учитывая, что в процессе лабораторных или производственных испытаний [6] контроль за количественными показателями защищающей способности препаратов осуществляют лишь в дискретные моменты времени  $t_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , строим следующую систему функций:

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = F|_{t=t_i}(x_1, x_2, \dots, x_n, t).$$

При этом  $f_0 = F|_{t=0} = 1$ .

Построение функции  $F$  (соответственно и функций  $f_i$ ) производим на основании обработки экспериментальных данных.

При известных аналитических выражениях для  $f_0, f_1, \dots, f_m$  построение модели сводится к следующей задаче оптимизации:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min ; \\ f_0(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1; \\ f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b_i, i = \overline{1, m}; \\ \sum_{j=1}^n x_j = 1; \\ m_j \leq x_j \leq M_j, j = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Если все функции  $f_i$  линейны, то рассматриваемая модель является моделью задачи линейного программирования и может быть решена с использованием алгоритма симплекс-метода [4].

Анализ данных микологических испытаний антисептированных деревянных образцов [6], проведенный методом конечных разностей [1, 5], дает основание с достаточно высокой точностью в качестве аппроксимирующих функций  $f_i$  выбрать линейные зависимости.

Принимая гипотезу о линейной форме связи, находим коэффициенты соответствующего выражения по методу наименьших квадратов (МНК) [4]. Целесообразность применения этого метода при решении подобных задач обусловлена тем, что общий вид зависимости можно определить на основании теоретического анализа, а в ходе экспериментальных исследований требуется установить значения некоторых параметров этой зависимости. Кроме того, весьма типичной для практики является задача аналитического сглаживания данных результатов эксперимента (с помощью кривой). Для

данного вида функциональной зависимости  $\hat{y}_t$ , необходимо так подобрать параметры, ее определяющие, чтобы по возможности более точно отразить наблюдаемую в экспериментах связь. Решая эту задачу, следует сгладить незакономерные случайные уклонения, связанные с неизбежными погрешностями экспериментов. Для установления адекватности сглаживания проверяется ряд свойств остаточной компоненты  $\varepsilon$ , приведенных в табл. 2.

Выбор критериев обусловлен их реализацией в широко используемых пакетах анализа данных.

О точности сглаживания можно судить по среднему относительному коэффициенту аппроксимации  $\bar{\varepsilon}_{\text{от}} = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \cdot 100\%$ , который, как правило, не должен превышать 5 ... 10 % [5].

Показателем качества полученных линейных аппроксимаций  $f_i$  являются совокупные коэффициенты детерминации [1, 5], выражающие степень объясняемости изменения результирующего показателя при изменении влияющих факторов.

Таблица 2

Проверяемое свойство	Предлагаемый статистический показатель
Случайность колебаний уровней	Критерий «пиков»
Соответствие нормальному закону распределения	Критерий Пирсона
Равенство нулю математического ожидания	t – Критерий Стьюдента
Отсутствие существенной автокорреляции остатков	Критерий Дарбина – Уотсона

5

На принятом уровне качества строим модель задачи линейного программирования с целью минимизации стоимости соответствующего многокомпонентного препарата.

Положим, что все функции  $f_i$  линейны, т.е.

$$f_i = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j x_j, i = \overline{1, m}.$$

Располагая результатами контрольных замеров  $y$  в моменты времени  $t_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  (при  $t = 0$  имеем  $y = 1$ ) для соответствующих рецептов препаратов, найдем коэффициенты  $a_j$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ ) по методу МНК. При достаточно больших значениях совокупного коэффициента детерминации  $R_i^2$  используем задачу линейного программирования:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min ;$$

$$\begin{cases} a_0 C + \sum_{j=1}^n a_j x_j \geq b_i, i = \overline{1, m}; \\ \sum_{j=1}^n x_j = 1; \\ m_j \leq x_j \leq M_j, j = \overline{1, n}. \end{cases}$$

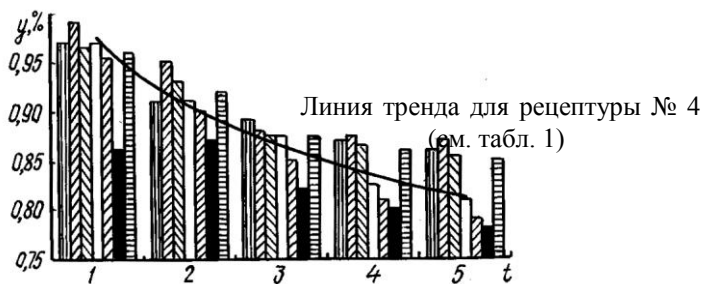
Показателем качества модели является  $\min_{i=1, m} R_i^2$ .

Например, для заданного эксперимента

$$f_{50} = 0,635981 + 0,030956x_1 - 0,033632x_2 + 0,718039x_3.$$

Условные ограничения задачи линейного программирования выбираем по результатам эксперимента, зная динамику показателя  $y$  при различных составах рецептуры препарата.

Современное программное обеспечение позволяет подобрать кривую, «сглаживающую» экспериментальные данные с наибольшим коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,98$  (см. рисунок).



Контрольные замеры показали, что у испытанных образцов показатель сохранности  $y = y(t)$  хорошо аппроксимируется логарифмической кривой

$$y = a + b \ln t.$$

Поэтому в качестве «контрольной» выберем кривую

$$y = 0,95 - 0,062 \ln t,$$

которая обеспечивает сохранность 0,95 на 10-е сутки и 0,85 на 50-е сутки. Минимальный показатель сохранности образцов (0,85 после 50 сут испытаний) определен по методике [6]. По контрольной кривой рассчитаны ограничения для 20, 30 и 40 сут (на рисунке – соответственно  $t_i = 2, 3, 4$ ). При этом коэффициент достоверности для имеющихся данных составляет 0,95 ... 0,99.

Дальнейшие исследования устойчивости структуры многокомпонентного препарата можно проводить с применением теории двойственности [2, 4].

Для наработки экспериментальной партии испытываемого препарата были согласованы следующие цены за 1 кг (без учета транспортных затрат): 1-й компонент – 2,78 руб, 2-й – 49,50 руб, 3-й – 33,00 руб. С учетом этого, предложена следующая модель задачи линейного программирования:

$$2,78x_1 + 49,5x_2 + 33x_3 \rightarrow \min .$$

$$\begin{cases} 0,635981 + 0,030956 x_1 - 0,033632 x_2 + 0,718039 x_3 \geq 0,85; \\ 0,946469 - 0,205823 x_1 + 1,605981 x_2 - 0,143462 x_3 \geq 0,95; \\ 0,727359 - 0,002103 x_1 + 1,156027 x_2 + 0,229523 x_3 \geq 0,91; \\ 2,563441 - 1,766637 x_1 - 1,32677 x_2 - 1,678663 x_3 \geq 0,88; \\ 1,673162 - 0,971859 x_1 - 1,015289 x_2 - 0,380545 x_3 \geq 0,86; \\ x_1 + x_2 + x_3 = 1; \\ 0,62 \leq x_1 \leq 0,65; \\ 0,1 \leq x_2 \leq 0,12; \\ 0,24 \leq x_3 \leq 0,26. \end{cases}$$

В результате решения задачи линейного программирования, составленной на основании экспериментальных данных, получено оптимальное содержание (в долях) компонентов в рассматриваемом антисептике:  $x_1 = 0,62$ ,  $x_2 = 0,12$ ,  $x_3 = 0,26$ .

Стоимость 1 кг препарата такой рецептуры составляет 16,24 руб.

#### Выводы

1. На основе алгоритма симплекс-метода разработана математическая модель оптимизации рецептуры многокомпонентных антисептиков, учитывающая их стоимость и защищающую способность.

2. Высокие показатели коэффициента достоверности ( $R > 0,95$ ) и применение теории двойственности подтвердили устойчивость разработанной модели оптимизации при изменении в большом диапазоне показателей биотестирования, количества компонентов и их соотношений в рецептурах антисептиков.

3. При помощи разработанной модели подобрана оптимальная рецептура трехкомпонентного антисептика на базе соединения четвертичного аммония.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.

2. *Гермейер Ю.Б.* Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.
3. *Демьянов В.Ф., Малоземов В.Н.* Введение в минимакс. – М.: Наука, 1972. – 368 с.
4. *Лесин В.В., Лисовец Ю.П.* Основы методов оптимизации. – М.: МАИ, 1998. – 344 с.
5. *Мостеллер Ф., Тьюки Д.* Анализ данных и регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1982. – Вып. 2. – 238 с.
6. *Чащина Л.М., Поромова Т.М.* Методика испытаний защитных средств против деревоокрашивающих и плесневых грибов // Сушка и защита древесины: Науч. тр. / ЦНИИМОД. – 1985. – С. 120–127.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.03.02

*Yu.A. Varfolomeev, M.A. Ambrosevich*

### **Optimization of Preservative Composition according to Cost Criterion on Protective Ability Basis**

Mathematical model of composition optimization based on simplex-method algorithm has been developed for multiple preservatives on cost and protective ability basis; the optimal composition of three-component preservative based on quarternary ammonium compound has been chosen.





## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.1

*С.С. Пузырев***ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МДМ И БУМАГИ НА ЕЕ ОСНОВЕ ПРИ МНОГОКРАТНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КОМПОЗИЦИИ МАКУЛАТУРЫ И ОБОРОТНОГО БРАКА**

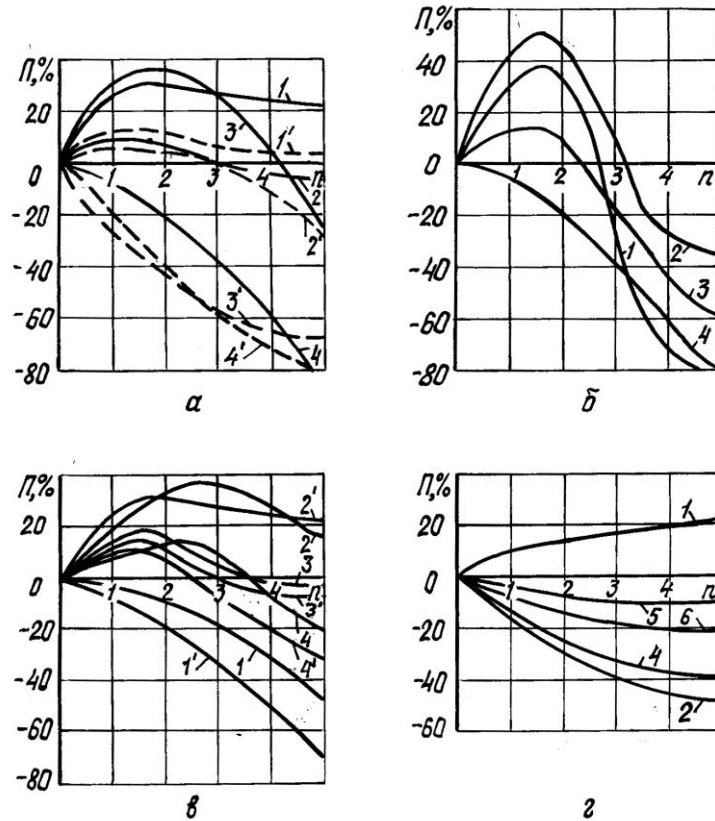
Показано, что свойства вторичного сырья (макулатуры) из бумаги на основе МДМ определяется технологией полуфабриката, видом используемой древесины и количеством циклов переработки.

механическая древесная масса (МДМ), вторичное сырье (макулатура), ДДМ, ДМД, ТММ, ХТММ, многократная переработка бумаги, бумагообразующие свойства МДМ, физико-химические свойства, химический состав, оборотный брак.

В настоящее время существует тенденция замены целлюлозы или большей ее части в композиции бумаги различными видами МДМ, что оказывает значительное влияние на изменение всей полуфабрикатной базы и свидетельствует о все большем насыщении рынка МДМ [3]. Данный факт затрудняет прогнозирование свойств вторичного сырья (макулатуры).

В связи с изложенным несомненный интерес представляет проблема использования макулатуры, содержащей значительное количество МДМ, а также макулатуры и оборотного брака в композиции бумаги пониженной массемкости.

В качестве исследуемых полуфабрикатов были выбраны ДДМ (АО «Кондопога»), ТММ и ХТММ (АО «Сыктывкарский ЛПК») и ДМД (опытно-промышленный центр фирмы VALMET, г. Инкорайнен, Финляндия). Использована схема: отлив – сушка – роспуск – размол (до требуемой степени помола) – отлив. Изучено влияние многократной переработки МДМ по этой схеме на показатели механической прочности, фракционный и химический состав, а также на физико-химические свойства волокон, характеризующие бумагообразующие свойства полуфабриката. Надо отметить, что поведение всех видов МДМ в процессе многократной переработки совершенно отлично от целлюлозы.



Изменение показателей механической прочности  $\Pi$  (относительно исходных полуфабрикатов) в зависимости от числа циклов  $n$  при многократной переработке МДМ: *a* – ДМД (1 – 4) и ДДМ (1' – 4'); *б* – ТММ; *в* – хвойная (1 – 4) и лиственная (1' – 4') ХТММ; *г* – сульфатная целлюлоза; 1, 1' – сопротивление раздиранию волокон; 2, 2' – разрывная длина; 3, 3' – сопротивление продавливанию; 4, 4' – сопротивление излому; 5 – удельная плотность; 6 – удлинение

Изменение механической прочности при многократной переработке волокон ДМД и ДДМ представлено на рис. 1, *a*.

При этом отмечены следующие изменения. Показатель сопротивления раздиранию у ДМД после первого, второго, третьего и четвертого циклов соответственно увеличивается на 37, 34, 27 и 26 % от исходного. Аналогичный показатель у ДДМ после второго цикла возрос незначительно (на 8 %), в дальнейшем он ухудшается. С повышением числа циклов переработки (от одного к четырем) сопротивление излому соответственно снижается на 24, 30, 60 и 64 % от исходного. Изменение разрывной длины у этих полуфабрикатов описывается параболическими зависимостями, но с различными коэффициентами.

Сопротивление продавливанию у ДМД после первого, второго и третьего циклов возрастает соответственно на 40, 28 и 17 %, после четверто-



го – снижается на 15 %. У ДДМ данный показатель после каждого цикла переработки уменьшается в среднем на 40 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что у ДМД после двух первых циклов переработки бумагообразующие свойства не ухудшаются, а по некоторым показателям даже улучшаются, тогда как у ДДМ наблюдается обратное – снижение практически всех показателей механической прочности.

Принципиальное отличие технологии ДМД от ДДМ состоит в том, что первый полуфабрикат получают под давлением 300 кПа и температуре около 95 °С. При этих условиях наблюдается переход лигнина из нативного в вязкопластичное состояние, гемицеллюлозной фракции – в вязкотекучее. Под воздействием нагрузки на волокна их разделение в основном происходит по срединной пластинке, где сосредоточено наибольшее количество лигнина и гемицеллюлоз. Волокна получаются более длинными и обладают более развитой внешней поверхностью и способностью к связеобразованию [2].

При многократной переработке ДМД происходят два основных процесса: во-первых, вымывание мелкого волокна, во-вторых, механическое измельчение волокон и образование мелочи. Изменение фракционного состава ДМД подтверждает это предположение (табл. 1, строки 2, 5, 8).

Вновь образующееся после каждого цикла переработки мелкое волокно различается по количественным и качественным характеристикам [3].

Большой интерес представляет механизм разрушения волокна при размоле от цикла к циклу. Разрушение за счет снятия верхнего слоя волокна, т.е. в основном за счет фибрилляции, существенно увеличивает его внешнюю удельную поверхность. Возможен и другой способ – за счет укорачивания волокон. Преобладание одного процесса над другим определяет пригодность полуфабриката к дальнейшей переработке. В этой связи были определены водоудержание и удельная поверхность при многократной переработке (табл. 1, строки 11, 14). Полученные результаты свидетельствуют, что у ДМД после четвертого цикла переработки водоудержание практически не изменяется, а внешняя удельная поверхность волокон уменьшается в 2 раза по сравнению с исходной. Можно предположить, что обратимая пластификация лигноуглеводного комплекса древесины в процессе получения ДМД оказывает значительное влияние на поведение волокна при многократной переработке. Прочности волокна ДМД достаточно на три цикла переработки, в дальнейшем оно исчерпывает возможность к связеобразованию, и процесс восстановления бумагообразующих свойств полуфабриката путем дополнительного размола сопровождается необратимым разрушением волокна не только в продольном, но и в поперечном направлении. Бумагообразующие свойства у ДДМ значительно снижаются уже после второго цикла переработки. Необходимо отметить, что благодаря более высоким параметрам процесса производства ДМД, по сравнению с ДДМ, при углуб-

Таблица 1

Показатели	Значения показателей при числе циклов переработки				
	0	1	2	3	4
Содержание фракций, %:					
а) длинноволокнистой:					
ДМД	60,1	51,0	42,5	31,5	30,9
ТММ	32,6	39,6	37,8	34,1	32,1
ХТММ	<u>47,8</u>	<u>42,5</u>	<u>41,9</u>	<u>41,0</u>	<u>38,2</u>
	39,7	38,3	38,0	36,1	37,4
б) средневолокнистой:					
ДМД	12,2	15,0	19,6	29,4	32,2
ТММ	14,9	18,8	19,8	22,9	28,4
ХТММ	<u>15,3</u>	<u>16,5</u>	<u>16,6</u>	<u>17,2</u>	<u>17,9</u>
	19,7	19,6	18,6	19,0	18,8
в) мелковолокнистой:					
ДМД	4,0	6,7	7,3	8,6	9,9
ТММ	4,1	5,0	6,3	7,8	10,5
ХТММ	<u>4,0</u>	<u>4,0</u>	<u>4,9</u>	<u>5,9</u>	<u>6,3</u>
	3,5	3,8	4,0	4,5	5,6
Водоудержание, %:					
ДМД	117,3	129,5	131,4	138,4	145,4
ТММ	125,0	163,0	168,0	170,0	171,0
ХТММ	<u>174,9</u>	<u>182,2</u>	<u>183,3</u>	<u>182,4</u>	<u>183,8</u>
	174,9	182,7	198,0	200,0	210,3
Внешняя удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г:					
ДМД	8,03	8,47	7,72	7,06	6,64
ТММ	4,96	5,10	5,50	5,00	5,10
ХТММ	<u>10,10</u>	<u>12,70</u>	<u>10,90</u>	<u>10,20</u>	<u>9,60</u>
	6,05	6,01	5,63	5,44	4,51
Силы связи по Иванову для ТММ $F_{св} \cdot 10^{-7}$ , мПа	4,06	6,71	4,99	4,26	4,10
Содержание в ТММ, %:					
лигнина	28,7	28,0	26,9	26,4	25,5
целлюлозы	43,2	43,1	43,8	43,8	44,5
экстрактивных веществ	2,0	1,8	1,4	1,4	1,1
гемицеллюлоз	14,3	12,1	10,0	10,0	8,4

Примечание. В числителе приведены данные для хвойной ХТММ, в знаменателе – для лиственной.

лении процесса пластификации полуфабрикат становится устойчивее к механическим воздействиям.

ТММ получают термогидролитической обработкой щепы под давлением 100 ... 300 кПа при температуре 100 ... 135 °С и размоле в две ступени на дисковых мельницах. Более глубокая термогидролитическая обработка аморфного лигноуглеводного комплекса древесины существенным образом влияет на бумагообразующие свойства как товарного полуфабриката, так и вторичных волокон из него. Если сравнивать ТММ с целлюлозой,

то необходимо отметить, что у обоих полуфабрикатов при переработке происходит необратимое ухудшение бумагообразующих свойств, но динамика изменений существенно различается. Зависимость бумагообразующих свойств ТММ от числа циклов переработки приведена на рис. 1, б.

Так, например, снижение показателей сопротивления излому по циклам переработки соответственно составило 9, 27, 70 и 84 % от исходного. Сопротивление продавливанию изменялось следующим образом: после первого цикла показатель увеличился на 13,7%, после второго, третьего и четвертого циклов снизился соответственно на 9, 68 и 77 % .

Сопоставляя данные показатели у ТММ и сульфатной целлюлозы, следует отметить, что у целлюлозы изменение описывается убывающей гиперболической зависимостью (рис. 1, в), т. е. равномерно снижаются от цикла к циклу. Это объясняется, во-первых, потерей мелочи при многократном отливе, во-вторых, потерей способности к фибрилляции за счет ороговения волокон в процессе сушки, в-третьих, укорачиванием целлюлозных волокон. У ТММ изменение аналогичных показателей описывается параболической зависимостью, имеющей точку максимума после первого цикла переработки. Это невозможно объяснить только механическим воздействием на волокна. Все явления, происходящие с целлюлозой при многократной переработке, характерны и для ТММ, но различия в химическом составе волокон резко изменяют их характер. Присутствие в волокнах аморфного лигногемицеллюлозного комплекса решающим образом влияет на поведение полуфабриката при переработке [2].

Отмечено изменение фракционного состава ТММ (табл. 1, строки 2, 5, 8). Снижение содержания длинноволокнистой фракции после четвертого цикла переработки составляет 23 % от исходного, а содержание средне- и мелковолокнистой фракции увеличивается приблизительно на 40 %.

При многократной переработке процессы вымывания мелкого волокна и его образования непосредственно сказываются на бумагообразующих свойствах полуфабрикатов – преобладание одного из процессов определяет характер изменения этих свойств [1].

При увеличении доли коротковолокнистой фракции для целлюлозы характерно повышение показателей механической прочности бумажного полотна. Это объясняется ростом числа связей на единицу объема. Данное явление отмечено у большинства «свежих» полуфабрикатов [2]. Для вторичных волокон ТММ обнаруживается обратная зависимость. Вероятно, в данном случае коротковолокнистая фракция исходного полуфабриката отличается от коротковолокнистой фракции последующих циклов переработки не только количественно, но и качественно. Если у волокон исходного полуфабриката коротковолокнистая фракция представляет собой смесь фибриллоплазмы, так называемых клейкого шлама и волокнистого порошка, то, вероятно, с каждым циклом переработки происходит смещение в сторону большего содержания последнего.

Данное предположение хорошо согласуется с изменением физико-механических свойств ТММ при многократной переработке (табл. 1, строки 11, 14, 16). С увеличением циклов переработки водоудержание волокон ТММ повышается, тогда как удельная поверхность практически не изменяется при многократной переработке. Изменение сил связи описывается квадратичной функцией, имеющей точку максимума после первого цикла переработки.

Снижение содержания лигнина, гемицеллюлозной фракции и экстрактивных веществ в ТММ указывает на некоторое разрушение лигноуглеводного комплекса при многократной переработке (табл. 1, строки 17–20).

Волокна ХТММ представляют собой сложный лигноуглеводный комплекс, модифицированный для хвойных пород, как правило,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , для лиственных – смесью  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  и  $\text{NaOH}$  ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Изменение показателей механической прочности ХТММ при многократной переработке представлено на рис. 1, 2. Изменение разрывной длины описывается параболической кривой, имеющей максимум у ХТММ из хвойной древесины после первого цикла переработки, из лиственной древесины – после второго цикла. Значения максимумов составляют соответственно 32 и 40 % относительно исходного полуфабриката. Аналогичным образом изменяется сопротивление излому. Для ХТММ из хвойной древесины этот показатель максимально увеличивается на 19 % от исходного полуфабриката после первого цикла переработки; для ХТММ из лиственных пород – на 17 % после второго цикла переработки. Параболической кривой описывается изменение сопротивления продавливанию, на которой максимальные значения для ХТММ из хвойных и лиственных пород совпадают.

Данные виды кривых, описывающих изменение показателей механической прочности, позволяют сделать следующее предположение. Исходный полуфабрикат имеет высокое содержание длинноволокнистой фракции – 39 % у ХТММ из лиственной и 47 % из хвойной древесины. В результате необратимой пластификации лигноуглеводного комплекса термо- и химическим воздействием волокна ХТММ имеют достаточно большую длину при слаборазвитой поверхности. После первого цикла у длинноволокнистой фракции ХТММ за счет дополнительного размола увеличивается удельная поверхность, так как волокна ещё достаточно гибкие и не утратили способности к фибрилляции.

Влияние многократной переработки на фракционный состав ХТММ приведено в табл. 1, строки 3, 6, 9. Для ХТММ характерно менее интенсивное, чем у ДМД и ТММ, снижение содержания длинноволокнистой фракции при повышении содержания коротковолокнистой, что объясняется большей жесткостью этих волокон. Вероятно, в данном случае скорость удаления мелкого волокна при отливе и скорость образования мелочи при размоле совпадают.

Об изменении микроструктуры волокон ХТММ косвенным образом можно судить по варьированию показателей водоудержания и удельной поверхности (табл. 1, строки 12, 15). Для ХТММ из лиственных пород древе-

сины отмечено увеличение водоудержания относительно исходного полуфабриката после первого, второго, третьего и четвертого циклов переработки соответственно на 8, 14, 15 и 21 %. У ХТММ из хвойных пород древесины наблюдается незначительное изменение этого показателя. Изменение удельной поверхности по циклам переработки показало, что после первого цикла переработки происходит рост данного показателя у ХТММ из хвойной древесины на 20 % относительно исходного, для ХТММ из лиственной древесины изменение показателя описывается убывающей степенной функцией. Снижение этого показателя после четвертого цикла переработки составляет 25 % от исходного.

Как известно, основным компонентом газетной бумаги является МДМ. При выработке газетной бумаги пониженной массоемкости возникает вопрос, в какой мере можно использовать в ее композиции макулатуру и оборотный брак.

Для получения компонентов, имитирующих мокрый и сухой брак, готовили массу, состоящую из 75 % ДДМ и 25 % сульфитной целлюлозы. В качестве мокрого и сухого брака использовали отливки после прессования и готовые высушенные отливки. Мокрый брак, разбавленный водой, распускали в мешалке, сухие отливки замачивали в воде и распускали в мешалке. Размола брака не производили. Затем составляли композиции в соответствии с запланированным содержанием брака. Основным компонентом композиции была масса, приготовленная традиционным способом.

Результаты испытаний (табл. 2) показали, что добавка в композицию любого количества хорошо распущенного оборотного брака (мокрого и сухого) не вызывает снижения показателей механической прочности бумаги и даже, наоборот, приводит к некоторому повышению сопротивления раздиранию и разрывной длины.

Таблица 2

Показатели бумаги	Значения показателей при содержании брака в композиции бумаги, %										
	мокрого						сухого				
	0	10	20	30	50	100	10	20	30	50	100
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	46,2	46,8	46,1	45,8	45,6	45,4	45,9	45,8	44,7	45,5	46,4
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	0,602	0,603	0,610	0,594	0,603	0,579	0,579	0,589	0,585	0,594	0,595
Воздухопроницаемость, мл/мин	175	168	173	182	203	294	157	185	202	195	277
Разрывная длина, м	3600	4010	3760	3760	3780	3740	3930	3850	3910	3600	3800
Сопротивление:											
раздиранию, мН	190	198	202	190	194	206	192	198	200	202	208
излому, ч.д.п.	12	10	10	14	7	11	10	10	7	7	6
Непрозрачность, %	96,3	96,4	96,1	96,2	96,1	95,9	96,2	96,3	96,1	96,4	96,9
Белизна, %	54,6	54,6	54,4	54,3	53,9	52,8	54,5	54,2	54,1	53,4	52,5
Начальная влагопрочность (при сухости 20 %), мН	598	579	628	–	–	–	618	618	–	–	–

Таблица 3

Показатели бумаги	Значение показателей при содержании газетной макулатуры в композиции бумаги, %		
	10	20	100
Масса 1м <sup>2</sup> , г	45,1	45,1	45,7
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	0,555	0,557	0,565
Воздухопроницаемость, мл/мин	178	168	203
Разрывная длина, м	3770	3460	3560
Сопротивление:			
раздиранию, мН	200	192	222
излому, ч.д.п.	12	11	–
Непрозрачность, %	95,8	95,6	95,3
Белизна, %	54,4	54,2	55,5
Начальная влапопрочность (при сухости 20 %), мН	608	628	598

Проведены также исследования с использованием газетной макулатуры в композиции тонкой газетной бумаги. Использовали незапечатанные поля газет, срок естественного старения которых составлял один год. Макулатурную массу также получали без размола: бумажные обрезки замачивали в воде и распускали в быстроходной мешалке.

Результаты этих экспериментов (табл. 3) показали, что добавка 10 и 20 % газетной макулатуры в композицию тонкой газетной бумаги практически не вызывает снижения ее механической прочности. Образцы бумаги, на 100 % изготовленные из газетной макулатуры или оборотного брака, были даже несколько прочнее образцов из первично приготовленной массы. Результаты определений начальной влапопрочности бумаги, изготовленной с добавками оборотного брака и газетной макулатуры (см. табл. 2, 3) показали, что ухудшения этого показателя также не происходит.

#### Выводы

1. Характер поведения МДМ при многократной переработке определяется технологией процесса производства, видом используемой древесины и количеством циклов переработки.

2. Из исследованных МДМ наиболее устойчивыми при многократной переработке являются ДМД и ХТММ.

3. Использование в композиции газетной бумаги пониженной массовости макулатуры или оборотного брака не вызывает снижения механической прочности и значительных изменений других свойств. В зависимости от процентного содержания макулатуры в композиции бумаги наблюдается некоторое улучшение ее свойств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 695 с.
2. Фляте Д.М. Свойства бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с.

---

3. *Howard R.C.* The Effects of Recycling on Paper Quality // Pulp and Paper Science. – 1990, September. – Vol. 16, N 5. – P. 143.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 02.10.01

*S.S. Pusyrev*

**Changing of MWP Properties and Paper Based on it at Multiple Treatment and Use in Garbage Composition and Circulating Waste**

The properties of secondary raw material (garbage) got from paper based on MWP is shown to be determined by technology of semifinished products, tree species and number of treatment cycles.

---

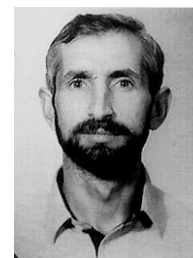
УДК 676.2.036

***Л.Ю. Фокина, В.К. Дубовый, Г.И. Чижов***

Фокина Любовь Юрьевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, аспирант.



Дубовый Владимир Клементьевич окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 30 печатных работ в области технологии бумаги и картона.



Чижов Георгий Иванович родился в 1942 г., окончил в 1967 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 100 печатных работ в области технологии бумаги и картона.



**УПРОЧНЕНИЕ БУМАГОПОДОБНЫХ КОМПОЗИТОВ  
НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН  
С ПОМОЩЬЮ ПОЛИГИДРОКСОКОМПЛЕКСОВ АЛЮМИНИЯ**

Проанализировано влияние расходов неорганического и органического связующих и волокон хлопковой целлюлозы на прочностные и деформационные характеристики стекловолоконных материалов пониженной массы.

бумагоподобные композиты, стеклянные волокна, алюминий, полигидроксокомплексы.

В настоящее время высок интерес к бумагоподобным композитам на основе минеральных волокон. Это объясняется тем, что минеральные волокна обладают рядом уникальных свойств, которые не характерны для растительных волокон. Поэтому бумагоподобные композиты находят применение в условиях, исключающих всякую возможность использования традиционных видов бумаги и картона.



Особое место среди бумагоподобных композитов занимают стекловолоконные материалы, характеризующиеся негорючестью, химической стойкостью, относительно высокой прочностью, сравнительно малой объемной массой, прекрасными оптическими, электро-, тепло- и звукоизоляционными свойствами, устойчивостью к биологическому воздействию. Эти материалы находят все большее применение в химической и электротехнической промышленности, строительстве, машиностроении и других отраслях народного хозяйства.

Стекланные волокна имеют относительно высокую удельную поверхность и покрыты монослоем гидроксильных групп [1]. Однако силы межволоконного взаимодействия в этих материалах очень малы, что вызывает необходимость введения связующих веществ в их композицию.

Исследования влияния соединений алюминия на прочностные свойства бумаги, проведенные ранее в С.-Петербургской лесотехнической академии на кафедре ЦБП, выявили и теоретически обосновали способность полигидроксикомплексов алюминия к координационному взаимодействию с гидроксильными группами целлюлозы. Они показали перспективность использования продуктов гидролиза соединений алюминия, т.е. полигидроксикомплексов алюминия, в качестве связующих минеральных волокон [2–4].

Это послужило основанием для создания стекловолоконных материалов с пониженной массой  $1 \text{ м}^2$ , которые упрочнены с помощью полигидроксикомплексов, осажденных, в нашем случае, из сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Кроме того, для повышения механической прочности композита использовали в первом случае поливинилспиртовые (ПВС) волокна, во втором – волокна хлопковой целлюлозы.

В ходе первого эксперимента были изготовлены двухкомпонентные бумагоподобные композиты на основе стекланных волокон (диаметр 0,2 и 0,6 мкм, соотношение 1:1). Массу  $1 \text{ м}^2$  образцов варьировали в пределах от 20 до 100 г. Связующие агенты вводили в следующих количествах:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – 10 ... 30 % от массы волокон в пересчете на  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; ПВС – 0 ... 5 % от массы волокон.

Отлив производили на листоотливном аппарате ЛА-М69 при pH 7–8, сушку – на сушильном цилиндре при температуре 110 ... 115 °С.

Далее на разрывной машине INSTRON были определены прочностные и деформационные характеристики полученных стекловолоконных материалов: предел прочности на разрыв, разрывная длина, начальный модуль упругости. На рис. 1 представлены зависимости предела прочности на разрыв и модуля упругости от расхода неорганического ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) и органического (ПВС) связующих при массе  $1 \text{ м}^2$  образцов 20, 60 и 100 г. Графики построены для минимального и максимального расходов органического связующего, а также для расхода, соответствующего максимальной величине изучаемых показателей (если этот максимум не совпадает с минимальным или максимальным расходом органического связующего).

Анализ графиков рис. 1 привел к ряду интересных выводов. Во-первых, по мере увеличения массы  $1 \text{ м}^2$  образцов расход волокон ПВС,

обеспечивающий максимальные значения предела прочности на разрыв, последовательно снижается с 3,5 % при массе 1 м<sup>2</sup> образцов 20 г до 1,5 % – при 100 г.

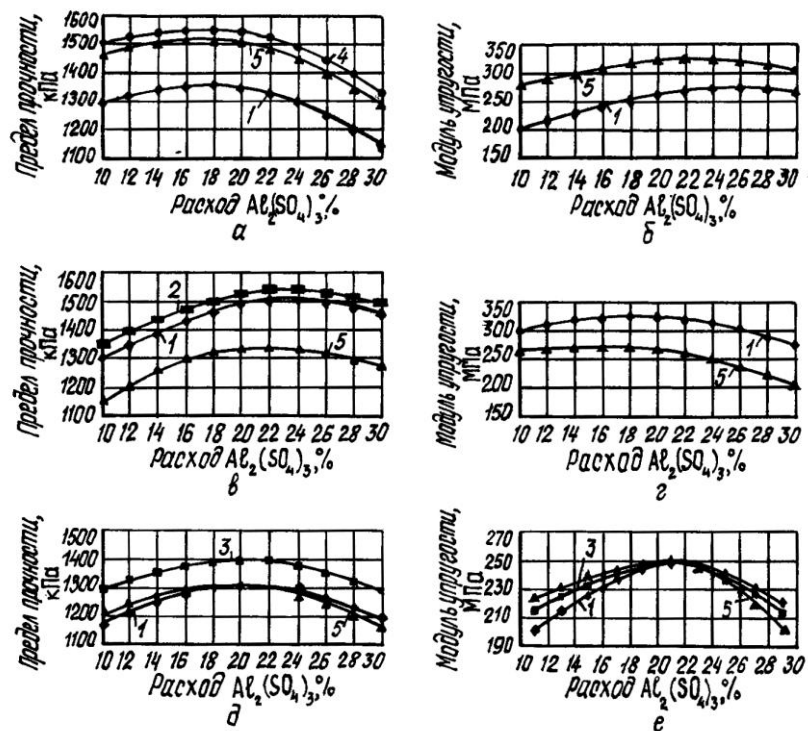


Рис. 1. Влияние расходов  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и волокон ПВС на предел прочности (а, в, д) и модуль упругости (б, г, е) стекловолоконного материала с различной массой 1 м<sup>2</sup>: а, б – 20; в, г – 60; д, е – 100 г; 1 – 0 % ПВС; 2 – 1,5; 3 – 2,5; 4 – 3,5; 5 – 5,0 % ПВС

Во-вторых, с ростом массы 1 м<sup>2</sup> образцов максимум значений предела прочности последовательно сдвигается в область повышенных расходов  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ : для отливок с массой 20, 60 и 100 г он соответственно отмечен при расходе сульфата алюминия 17, 20 и 23 %.

Не менее отчетливо проявляется влияние повышенных расходов волокон ПВС на модуль упругости стекловолоконного бумагоподобного композита по мере увеличения массы 1 м<sup>2</sup> образцов. Так, для образцов массой 20 г максимум модуля упругости наблюдается при 5,0 %-м расходе волокон ПВС, у материала массой 60 г этот показатель уже мало зависит от расхода добавки. При массе 1 м<sup>2</sup> материала 100 г любая добавка волокон ПВС приводит к снижению модуля упругости.

Кроме того, в отличие от предела прочности на разрыв, максимумы достигаемых значений модуля упругости с увеличением массы 1 м<sup>2</sup> материала закономерно смещаются в область пониженных расходов  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Однако в целом, варьируя расходы связующих в исследуемом диапазоне, можно добиться примерно одинаковых значений предела прочности на разрыв и начального модуля упругости у материалов, значительно отличающихся по массе  $1 \text{ м}^2$ .

Помимо вышеописанного материала был создан бумагоподобный композит на основе стеклянных волокон (диаметр 0,2 и 0,6 мкм, соотношение 1:1) массой 7,3 г. Снижение массы  $1 \text{ м}^2$  с 20 до 7,3 г было достигнуто за счет введения в композицию волокон хлопковой целлюлозы со степенью помола 76 °ШР в количестве 2,5; 5,0; 7,5 и 10,0 % от массы стеклянных волокон. В качестве связующего агента использовали только  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в количестве 30 % от массы стеклянных волокон в пересчете на  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Как и в предыдущем случае, на разрывной машине INSTRON были определены прочностные и деформационные характеристики полученных бумагоподобных композитов: предел прочности на разрыв, разрывная длина, начальный модуль упругости. Зависимости предела прочности на разрыв и модуля упругости от расхода волокон хлопковой целлюлозы представлены на рис. 2.

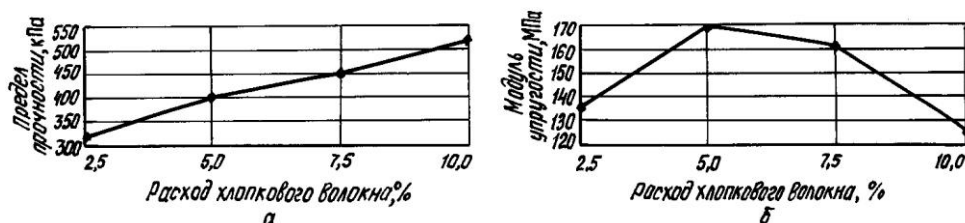


Рис. 2. Влияние расхода волокон хлопковой целлюлозы на предел прочности (а) и модуль упругости (б) стекловолоконного материала (масса  $1 \text{ м}^2$  – 7,3 г)

Сравнение графиков а и б рис. 2 показывает, что в характере изменения исследуемых показателей имеются существенные различия. Предел прочности на разрыв, зависящий в основном от суммарной энергии межволоконного взаимодействия в композите, при увеличении расхода хлопковой целлюлозы возрастает практически по закону прямой линии, так как энергия межволоконного взаимодействия у волокон хлопковой целлюлозы гораздо выше, чем у стеклянных волокон.

Начальный модуль упругости, достигающий максимума при 5 %-м расходе хлопковой целлюлозы, весьма чувствителен к изменениям структуры материала. Поэтому можно предположить, что изменения модуля упругости, отражаемые графиком б рис. 2, связаны не только и не столько с изменением энергии межволоконного взаимодействия в изучаемом образце, а, прежде всего, с изменениями его структуры.

Полученные стекловолоконные композиты могут быть использованы в качестве термостойких облицовочных и изоляционных материалов, в

том числе, для облицовки трубопроводов, предназначенных для перекачки жидкостей в химической промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асланова М.* Стекланные волокна. – М.: Химия, 1979.
2. *Чижов Г.И., Бодрова В.М.* Влияние повышенных расходов соединений алюминия на механическую прочность бумаги из хлопковой целлюлозы // Химия и технология бумаги: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1974. – Вып. II. – С. 20–28.
3. *Чижов Г.И., Бодрова В.М.* Исследование механизма взаимодействия соединений алюминия с целлюлозными волокнами // Химия и технология древесины, целлюлозы и бумаги: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1974. – Вып. II. – С. 30–34.
4. *Чижов Г.И., Иванов С.Н., Фляте Д.М.* О механизме взаимодействия соединений алюминия с целлюлозными волокнами // Химия и технология целлюлозы: Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1975. – Вып. II. – С. 93–100.

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия  
С.-Петербургский государственный  
технологический университет  
растительных полимеров

Поступила 07.03.02

*L.Yu. Fokina, V.K. Dubovy, G.N. Chizhov*

#### **Strengthening of Paper-similar Composites on Glass Fiber Base by Polyhydrocomplexes of Aluminium**

The influence of consumption for inorganic and organic binding agents as well as cotton pulp fibrous on strength and deformation properties of fiberglass materials of reduced mass has been analyzed.

УДК 668.473

**С.И.Третьяков**

Третьяков Сергей Иванович родился в 1946 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесохимических производств Архангельского государственного технического университета. Имеет около 70 печатных трудов в области химической переработки древесины.



### **ВЫДЕЛЕНИЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ СУЛЬФАТНОГО МЫЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА**

Определены оптимальные условия разделения реакционной смеси с использованием ультразвуковой обработки в процессе выделения таллового масла при разложении сульфатного мыла.

сульфатное мыло, талловое масло, разложение, отстаивание, ультразвуковая обработка.

Существующая на сульфатно-целлюлозных предприятиях России технология переработки сульфатного мыла с получением таллового масла, жирных и смоляных кислот оправдала себя недостаточно; технологические операции и оборудование не отвечают современным требованиям; отмечено плохое разделение на составляющие образовавшейся реакционной смеси талловое масло–солевой раствор–лигнин; имеет место большое количество нежелательных примесей в сыром талловом масле; значительны потери таллового масла со шламом; велики расходы химикатов; загрязнены стоки; газозовые выбросы содержат сероводород, меркаптаны.

К настоящему времени назрела необходимость принципиально новых решений в технологии сбора и переработки сульфатного мыла. С учетом возможного применения нетрадиционных методов для осуществления более полного отделения таллового масла от солевого раствора реакционной смеси (кислой воды) нами предложено использовать поле ультразвуковых колебаний (УЗК). Вопросам применения ультразвука в различных технологических процессах посвящен ряд монографий [1, 3, 5, 6].

По своей природе УЗК частотой свыше 10 кГц не отличаются от упругих колебаний слышимого диапазона частот и инфразвука с частотой ниже 10 кГц. При превышении некоторого предельного для данной среды значения частоты ультразвука в ней возникают новые физические явления: давление излучения, акустические потоки, акустическая кавитация – разрыв сплошности жидкости и возникновение отрицательного (растягивающего) давления, приводящего к образованию пузырьков. При проходе акустической волны пузырек схлопывается, происходит локальное концентрирова-

ние кумулятивной энергии высокой плотности. При этом внутри пузырька температура мгновенно повышается до 3400 ... 4000 К, давление достигает около 30 МПа, на его поверхности накапливается электрический заряд, создающий электрическое поле напряженностью до  $10^{11}$  В/м. Продолжительность жизни пузырька равна  $10^{-8}$  с.

УЗК могут инициировать физические, физико-химические, химические и биологические явления. В частности, в устойчивых эмульсиях размывается поверхность раздела фаз, изменяются уровень и знак поверхностных электрических зарядов. Возникающие струи приводят к кавитационному движению частиц неоднородной среды. Длина кавитационных струй зависит от вязкости жидкости и частоты УЗК и определяется по формуле

$$l = (\nu / \gamma)^{0.5},$$

где  $l$  – длина кавитационной струи, м;

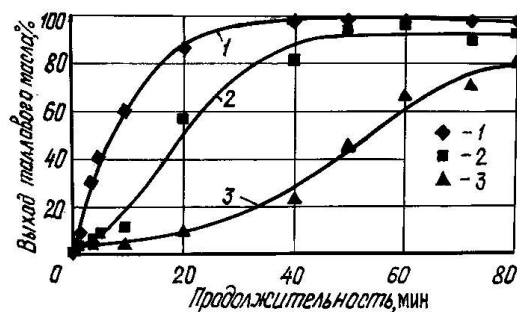
$\nu$  – кинематическая вязкость жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\gamma$  – частота УЗК, Гц ( $\text{с}^{-1}$ ).

Экспериментальные исследования проводили на лабораторной установке, включающей реактор для разложения сульфатного мыла серной кислотой, дегазатор, помещенный в ультразвуковую (УЗ) ванну УМ-2 с частотой 25 кГц и мощностью 140 Вт и отстойник реакционной среды [2, 4]. Установка позволяла моделировать условия работы промышленной системы периодического и непрерывного действия.

Результаты изучения динамики разделения реакционной смеси представлены на рис. 1. В отсутствие УЗК отделение кислой воды происходило почти равномерно в течение 1 ч. Выделение таллового масла отмечено через 30 мин после начала отстаивания. Количество неразделившейся эмульсии составило 40 % от объема реакционной смеси. В опыте с открытым дозревателем наблюдалось достаточно быстрое оседание сильно замутненной кислой воды, практически прекратившееся через 15 мин. Конечный объем водной фазы был несколько больше, чем в предыдущем опыте. При доотстаивании в делительной воронке водный слой осветлился за счет оседания шлам-лигнина. Индукционный период на кривой выделения таллового масла равен периоду ультразвуковой (УЗ) обработки, продолжительность стадии выделения снизилась незначительно, а выход масла несколько возрос. По этой причине объем неразделившейся смеси составил около 25 %, при-

Рис. 1. Динамика выделения таллового масла из реакционной смеси: 1 – ультразвуковая обработка смеси, полученной без дегазации; 2 – ультразвуковая обработка частично дегазированной смеси; 3 – контрольный опыт без ультразвука



чем она содержала меньше влаги. При наложении ультразвукового поля наблюдалось хаотичное перемещение пузырьков газа в объеме пробы, сопровождаемое интенсивным их выделением. В течение 3 мин происходило формирование водного и масляного слоев. В данном опыте наблюдалось наиболее полное фазовое разделение реакционной смеси.

Полученный эффект можно объяснить явлением ультразвуковой кавитации. В возникающей под действием кавитации ударной волне развиваются большие местные мгновенные давления, приводящие к механическому разрушению адсорбционного слоя лигнина, в результате чего коалесценция капель и их отделение из эмульсии происходит быстрее, чем в отсутствие ультразвука. Явлением кавитации объясняется и усиление ультразвукового воздействия на смесь, полученную без дегазации. В этом случае в системе находится больше центров образования кавитационных полостей, поэтому кавитационный эффект более ярко выражен.

Для проверки правильности вывода о роли реакционных газов в процессе разделения реакционной смеси проведен эксперимент по изучению динамики дегазации системы. В случае, когда центрами образования кавитационных полостей являются пузырьки газа, кавитация сопровождается интенсивной дегазацией системы. Результаты определения газосодержания реакционной смеси представлены на рис. 2.

При отсутствии ультразвука пузырьки газа передвигаются в жидкости медленно, и дегазация протекает равномерно в течение длительного времени. В акустическом поле скорость перемещения пузырьков возрастает, поэтому дегазация происходит интенсивнее и заканчивается быстрее. Причем, под действием ультразвука из смеси выделяется газов больше, чем в контрольных опытах. Скорость дегазации смеси, полученной в открытом реакторе, почти не изменяется; конечная величина газонасыщения смеси при ее УЗ обработке и в контрольном опыте совпадает со значениями для смеси из закрытого реактора. Однако количество выделившихся газов в данном случае гораздо меньше, так как большая их часть удаляется из смеси непосредственно в момент образования в ходе реакции разложения. Таким образом, на эффективность ультразвукового воздействия влияет газосодержание поступающей реакционной смеси.

Для установления оптимального режима процесса отстаивания исследовано влияние на эффективность УЗ обработки следующих режимных



Рис. 2. Зависимость газосодержания реакционной смеси от продолжительности дегазации: 1, 2 — ультразвуковая дегазация; 1', 2' — контрольный опыт без ультразвука; 1, 1' — смесь из закрытого реактора; 2, 2' — смесь из открытой емкости

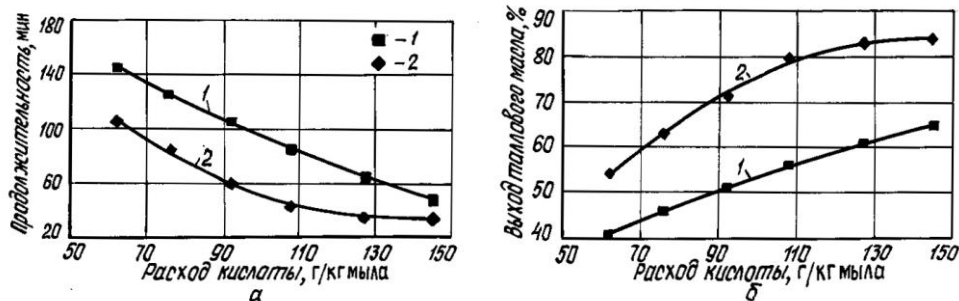


Рис. 3. Влияние расхода кислоты на продолжительность стадии всплывания таллового масла: (а) и его выход из эмульсии (б): 1 – контрольный опыт, 2 – ультразвуковая обработка

параметров процесса разложения: расход серной кислоты, степень разбавления подаваемого сульфатного мыла, содержание в нем лигнина. Исследовано также влияние температуры и продолжительности ультразвуковой обработки реакционной смеси на выход, состав и продолжительность выделения из эмульсии продуктов разложения.

Влияние относительного расхода кислоты на продолжительность разделения реакционной смеси и выход продуктов ее разрушения представлено на рис. 3. В ультразвуковом поле как на стадии отделения кислой воды, так и на стадии всплывания масла минимальное значение продолжительности разделения наблюдалось при стехиометрическом расходе кислоты (рис. 3, а). При уменьшении количества подаваемой кислоты смесь разделялась значительно хуже. Это происходило по той причине, что непрореагировавшее мыло оказывало дополнительное стабилизирующее действие на образующуюся при разложении эмульсию.

Доказательством подобного заключения может служить и наблюдающееся снижение выхода таллового масла как в ультразвуковом поле, так и в его отсутствие (рис. 3, б). При подаче на разложение избытка кислоты происходило увеличение продолжительности отделения кислой воды в ультразвуковом поле, поскольку с ростом плотности реакционной смеси интенсивность проходящих УЗК снижается.

Во второй серии опытов изменяли влажность подаваемого на разложение раствора сульфатного мыла. Результаты УЗ обработки (рис. 4) показывают, что повышенная продолжительность разделения смеси при малом разбавлении сульфатного мыла связана с изменением вязкости среды, отрицательно влияющей на все энергетические составляющие УЗК.

Особенно это проявляется при УЗ обработке, так как все основные энергетические составляющие УЗК (звуковое давление, интенсивность, амплитуда колебаний) имеют обратно пропорциональную связь с вязкостью



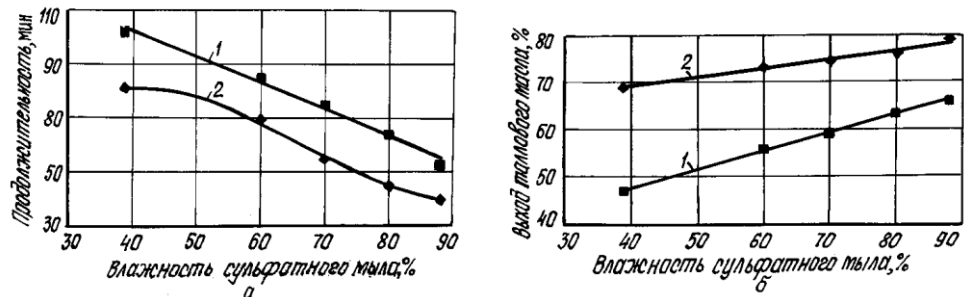


Рис. 4. Влияние влажности сульфатного мыла на продолжительность стадии всплывания таллового масла (а) и его выход из эмульсии (б) (см. обозначения на рис. 3)

среды. Эта зависимость выражена коэффициентом поглощения акустических колебаний средой:

$$a = \frac{bf^2}{2\rho c^2},$$

где  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;

$x$  – коэффициент, учитывающий теплоемкость среды;

$c$  – скорость звука, м/с;

$\mu$  – динамический коэффициент вязкости, МПа·с;

$b$  – диссипативный коэффициент,  $b = x + \frac{5}{3}\mu$ ;

$f$  – частота акустических колебаний, кГц.

Поэтому при малом разбавлении сульфатного мыла затухание УЗК в среде проходит достаточно быстро. В результате вязкость среды оказывает двойное отрицательное действие на разделение: снижает эффект ультразвукового воздействия и ухудшает гравитационное отстаивание (снижает скорость оседания воды из эмульсии). Рост продолжительности первой стадии при сильном разбавлении мыла объясняется общим свойством всех эмульсий – повышением стабильности вследствие увеличения количества дисперсионной среды (воды). Возникающие при этом пространственные затруднения для коалесценции капель масла менее заметны из-за большей подвижности дисперсной фазы в ультразвуковом поле. Поэтому, в отличие от контрольных опытов, рост продолжительности не столь значителен. Продолжительность всплывания масла (рис. 4, а) снижается во всем интервале роста влажности мыла.

Выход таллового масла (рис. 4, б) от влажности мыла зависит мало, так как совокупное влияние всех факторов почти компенсируется. Причем, выход масла в контрольных опытах изменяется более круто, так как повышенное содержание газов ухудшает гравитационное отстаивание. В целом степень разделения смеси имеет линейную зависимость от влажности мыла при гравитационном осаждении и несколько отклоняется от прямой при УЗ обработке.

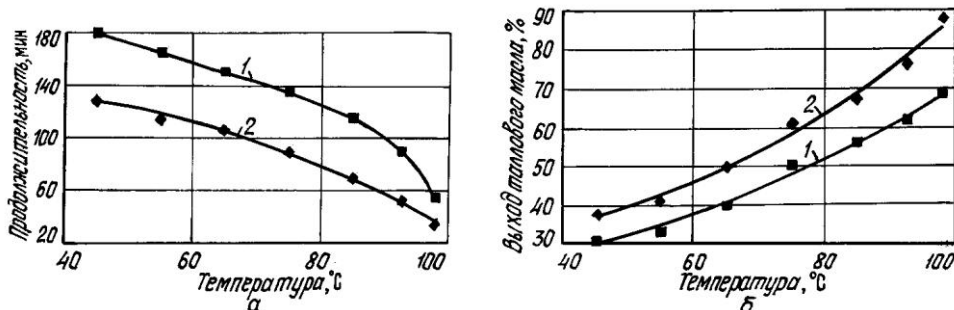


Рис. 5. Влияние температуры отстаивания на продолжительность стадии всплывания таллового масла (а) и его выход из эмульсии (б) (см. обозначения на рис. 3)

В третьей серии опытов изучено влияние температуры на процесс разделения. Результаты эксперимента (рис. 5) показывают, что данный фактор оказывает весьма значительное воздействие на процесс отстаивания и, особенно, на выход таллового масла (рис. 5, б). В контрольных опытах процесс зависит от десорбции лигнина с поверхности раздела фаз и перехода его в водный слой, а также от дегазации, способствующей снижению количества масла, удерживаемого в лигниновом слое. На отстаивание УЗ обработанной смеси влияет еще и усиление кавитации, а следовательно, и количество перешедшего в водный слой лигнина. Таким образом, в положительном плане кавитация на стадии всплывания масла сказывается только при отстаивании смеси.

В целом можно утверждать, что изменение температуры влияет, в первую очередь, на скорость отстаивания реакционной смеси (особенно на стадии отделения таллового масла), а также на конечную степень разделения эмульсии, тогда как на качестве продуктов данный фактор сказывается не столь значительно.

В четвертой серии изучено влияние содержания лигнина в сульфатном мыле. Очевидно, что содержание стабилизатора должно оказывать весьма сильное воздействие на процесс отстаивания.

Продолжительность отстаивания (рис. 6, а) возрастала с увеличением содержания лигнина как в опытах с ультразвуком, так и в контрольных. Наблюдается рост начального объема лигнинового слоя, т.е. все большее число фаз участвовало в формировании исходной эмульсии. В опытах с ультразвуком продолжительность резко возрастала при содержании в мыле около 4 % лигнина, что соответствует критической толщине структурно-механического барьера на поверхности капель масла.

Выход таллового масла (рис. 6, б) зависел от количества лигнина не меньше, чем продолжительность отстаивания. В опытах с ультразвуком при содержании 4 % лигнина наблюдается перегиб кривой, подтверждающий недостаток интенсивности акустических колебаний.

Анализ продуктов разделения показал, что с ростом содержания лигнина в смеси его распределение между разделившимися слоями меняется

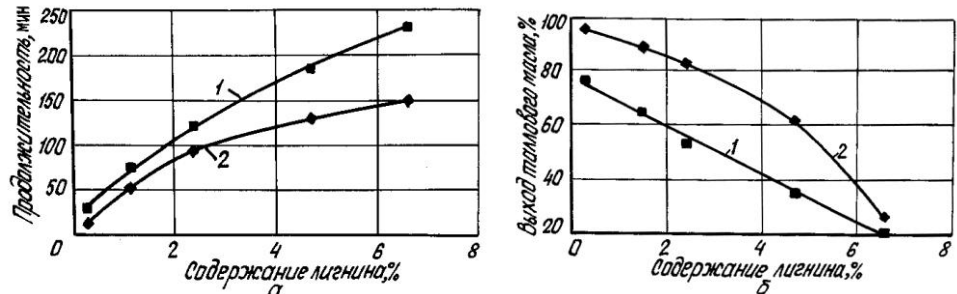


Рис. 6. Влияние содержания лигнина в сульфатном мыле на продолжительность стадии всплывания таллового масла (а) и его выход из эмульсии (б) (см. обозначения на рис. 3)

мало и концентрирования его в какой-либо из фаз не происходит, изменяется, главным образом, соотношение объемов слоев.

В пятой серии опытов исследовано поведение реакционной смеси при длительном наложении ультразвукового поля. Это было необходимо для выяснения поведения разделившейся масляной эмульсии в ходе УЗ обработки в большом временном интервале.

Изучение продолжительности УЗ обработки показало, что на первой стадии по достижении конечного значения степени отделения кислой воды (через 3 мин после начала обработки) в течение последующих 30 мин изменения высоты водного слоя не происходило. Затем высота водного слоя начинала медленно падать, граница раздела с лигнином размывалась.

Объяснить это можно тем, что в системе развивался обратный процесс: ультразвук начинал оказывать диспергирующее действие на отстающую эмульсию, вызывая концентрирование ее по содержанию дисперсной фазы.

Собственно в ультразвуковом поле (рис. 7) масло отделялось от эмульсии хуже, чем при гравитационном отстаивании. Хотя кавитация способствовала освобождению поверхности капель масла от эмульгатора, сопровождающие ее ударные волны затрудняли отделение масла, провоцируя диспергирование капель. Отрицательное действие в данном случае оказывала и дегазация системы.

Поднимающиеся пузырьки газа разбивали формирующуюся границу раздела между отстающим маслом и эмульсией, перемешивая слои. Однако выход масла в первые 50 мин все же возрастал, так как коалесценция и всплывание подавлялись ультразвуком не полностью. Затем выход начинал

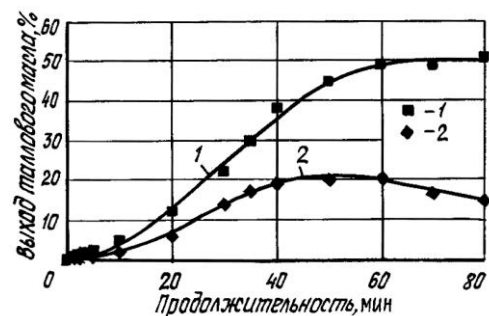


Рис. 7. Динамика отстаивания таллового масла из эмульсии: 1 – в ультразвуковом поле, 2 – в гравитационном поле

падать, что подтверждает вывод об эмульгировании системы при длительном озвучании.

Проведенные в данной серии эксперименты доказывают необходимость отстаивания реакционной смеси после УЗ обработки (особенно это важно для стадии всплывания масла), а также позволяют сделать вывод, что длительная УЗ обработка (около 1 ч и более) может провоцировать нежелательный процесс эмульгирования.

В шестой серии опытов изучено влияние продолжительности предварительной УЗ обработки. От данного фактора, при постоянстве прочих параметров ультразвука (частота, интенсивность колебаний, мощность излучателя), зависит количество подводимой энергии для процесса разделения.

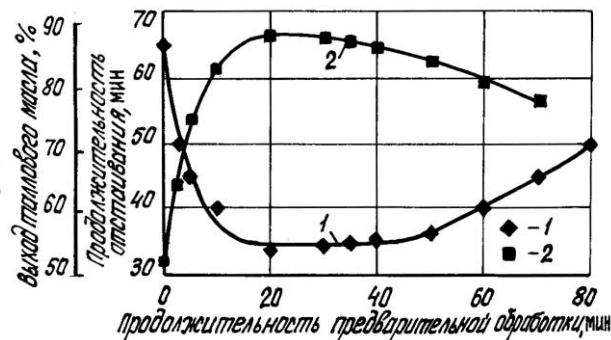
При увеличении периода УЗ обработки до 20 мин продолжительность всплывания масла (рис. 8, кривая 1) в процессе отстаивания снижалась. В интервале обработки 20 ... 40 мин она оставалась практически неизменной, а при действии ультразвука на смесь более 40 мин начинала возрастать. Причем угол наклона кривой к оси абсцисс на данном участке меньше, чем в интервале 0 ... 20 мин (более низкая скорость процесса).

Снижение продолжительности отстаивания при малой продолжительности УЗ обработки обусловлено ростом количества подводимой энергии. По этой причине уменьшается содержание лигнина в неразделившейся эмульсии сразу после обработки, т. е. освобождается поверхность раздела фаз.

Выход таллового масла (рис. 8, кривая 2) изменялся соответственно продолжительности отстаивания. При увеличении продолжительности обработки он сначала возрастал, поскольку сказывалось деэмульгирующее действие ультразвука, а при длительной обработке – снижался вследствие преобладания в системе процесса диспергирования масла и перехода его и кислой воды обратно в эмульсию. На кривой выхода масла заметен явный максимум, соответствующий УЗ обработке в течение 20 мин.

По результатам, полученным в данной серии, можно заключить, что оптимальной следует считать продолжительность УЗ обработки эмульсии около 20 мин.

Рис. 8. Влияние продолжительности предварительной ультразвуковой обработки на продолжительность стадии всплывания таллового масла (1) и его выход из эмульсии (2)



В заключении для выяснения значимости влияния технологических параметров на отстаивание реакционной смеси был проведен дисперсионный анализ, который показал, что все изученные факторы значимо влияют на процесс ультразвуковой интенсификации деэмульгирования. В исследованном интервале варьирования наиболее значимо на продолжительность разделения смеси и выход таллового масла влияет содержание лигнина в исходном сульфатном мыле. Расход кислоты, влажность мыла и температура отстаивания, судя по значению критерия Фишера, сильнее влияют на продолжительность процесса, тогда как содержание лигнина и продолжительность УЗ обработки – на выход таллового масла.

С учетом результатов дисперсионного анализа проведена оптимизация условий процесса ультразвуковой интенсификации выделения таллового масла. Поиск оптимальных значений технологических параметров осуществляли по методу последовательных симплекс-планов. Оптимальные условия процесса: продолжительность УЗ обработки – 10 мин; температура 80 °С; расход серной кислоты 100 кг/т мыла; влажность мыла 75 %.

На основании анализа полученных результатов можно предложить следующий механизм интенсифицирующего воздействия ультразвукового поля на разрушение эмульсии талловое масло – кислая вода.

Реакционная смесь быстро переходит в прямую эмульсию, стабилизированную лигнином, частицы которого, сорбируясь на поверхности капель масляной, образуют структурно-механический барьер на границе раздела фаз. Реакционная смесь содержит большое количество газов, образующихся в ходе побочных реакций. В обычных условиях данная эмульсия устойчива, как и большинство систем, стабилизированных твердыми неионогенными эмульгаторами.

При наложении ультразвукового поля в реакционной смеси возникает кавитационный эффект, обусловленный сильной загазованностью смеси и вызывающий формирование ударных волн. Под действием микротечений среды, образующихся вследствие сложного характера распространения ультразвуковых волн, происходит активное перемещение капель масла, которые концентрируются в верхнем слое, образуя лигно-масляный слой. Этому способствуют и всплывающие газовые пузырьки. Одновременно формируется и нижний водный слой. Под действием ударных волн происходит десорбция частиц лигнина с поверхности раздела и их переход за счет разности плотностей в кислую воду, т. е. разрушается структурно-механический барьер, препятствующий коалесценции капель масляного слоя. Такие изменения претерпевает смесь на первой стадии обработки.

При отстаивании смеси в процессе концентрирования эмульсии и разрушения адсорбционного слоя эмульгатора капли масла могут подходить друг к другу достаточно близко, преодолевая силы отталкивания (возникающие вследствие наличия на их поверхности двойного электрического слоя), коагулировать и всплывать.

Оседающие хлопьевидные частицы лигнина обладают развитой поверхностью и за счет этого могут уносить на себе в отстоявшийся водный

слоем пленку масла, что увеличивает потери последнего. Однако при ультразвуковом воздействии вследствие разности скоростей распространения ультразвука в жидкости (масло) и твердом теле (лигнин) происходит отрыв части масляной пленки с поверхности частиц лигнина. Поэтому количество масла, унесенного в водную фазу, невелико. Лигнин под действием высокой температуры коагулирует и оседает из водного слоя, формируя шлам-лигнин.

На основании проведенных исследований разработан новый способ интенсификации разделения реакционной смеси при получении талового масла, определены оптимальные условия и предложен механизм осуществления процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Иностран. лит., 1956. – 220 с.
2. Глуханов А.А., Третьяков С.И. Ультразвуковая обработка реакционной смеси при получении талового масла // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. – Архангельск, 1997. – Вып. III. – С. 25–33.
3. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. – 192 с.
4. Третьяков С.И., Глуханов А.А. Интенсификация выделения талового масла с применением ультразвука // Менеджмент экологии: Материалы конф. «Экология-99» (Вологда, 12-14 мая, 1999 г.) – Вологда, 1999. – С. 54–57.
5. Фридман В.М. Ультразвуковая химическая аппаратура. – М.: Машиностроение, 1967. – 212 с.
6. Эльпинер И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. – М.: Изд-во физико-математ. лит., 1963. – 420 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 28.01.02

*S.I. Tretyakov*

#### **Liberation of Tall Oil at Soap Decomposition Using Ultrasound**

The optimal conditions of reactive mixture separation are determined using the ultrasonic treatment in the process of sulphate soap liberation.

---

УДК 66.0482:668.473

*С.И.Третьяков*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИ РЕКТИФИКАЦИИ ТАЛЛОВОГО МАСЛА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ**

Показана возможность получения новых талловых продуктов при ректификации таллового масла путем применения парциальной конденсации и пути улучшения их качества; разработаны алгоритм и программа расчета парциальной конденсации продуктов разделения таллового масла как многокомпонентной смеси.

талловое масло, пальмитиновая кислота, канифоль, парциальная конденсация, ректификация.

Талловое масло представляет собой сложную многокомпонентную смесь. При его разделении получают канифоль, жирные талловые кислоты, дистиллированное и легкое масла. Для получения новых талловых продуктов и улучшения их качества ректификационные установки оснащают системами парциальной (фракционирующей) конденсации.

Сущность процесса парциальной конденсации многокомпонентной смеси заключается в том, что жидкость, образовавшаяся при частичной конденсации паровой фазы, более богата тяжелым (низкокипящим) компонентом, а пар – легкокипящим. Расчет парциальной многокомпонентной конденсации смеси паров аналогичен расчету дистилляции многокомпонентной жидкости [3]. В случае парциальной конденсации уравнение зависимости состава исходного и выходящего из парциального конденсатора пара можно представить в следующем виде:

$$\alpha_{1i} \lg[(1 - G_n/L)Y_{in}/Y_i] = \lg[(1 - G_n/L)Y_{1n}/Y_1],$$

где  $\alpha_{1i}$  – коэффициент относительной летучести;

$G_n$  – расход пара, поступающего в систему парциальной конденсации;

$L$  – расход стекающей жидкости;

$Y_{in}, Y_i$  – мольные доли компонентов в парах, поступающих в систему парциальной конденсации и выходящих из нее;

$Y_{1n}, Y_1$  – то же для наиболее тяжелолетучего компонента в парах.

Таких уравнений составляют  $i - 1$ ,  $i$ -е уравнение получают из условия  $\sum Y_i = 1$ . Методом итераций находят состав неконденсированного пара. На основе уравнений материальных балансов для каждого из компонентов определяют состав жидкости  $X_i$ .

При парциальной конденсации изменяются давление и температура, что необходимо учитывать при расчете относительной летучести компонентов. Упругость паров компонентов таллового масла в зависимости от температуры может быть рассчитана по уравнению Антуана

$$\lg P_i = A_i + B_i/T,$$

Таблица 1

Компоненты	<i>A</i>	<i>B</i>
Нейтральные вещества:		
легколетучие	10,2695	4599,3
тяжелолетучие	10,7175	5551,2
канифоли 2-го сорта	15,3047	8340,3
Кислоты:		
олеиновая	9,0575	4442,8
пальмитиновая	8,4488	3981,1
жирные	9,3202	4620,0
смоляные	10,7175	5551,2

Таблица 2

Компоненты	<i>B</i> <sub>0</sub>	<i>B</i> <sub>1</sub>	<i>B</i> <sub>2</sub>
Нейтральные вещества:			
легколетучие	136,900280	-0,7025028	0,0010002
тяжелолетучие	30,499717	-0,1562476	0,0002187
канифоли 2-го сорта	0,573402	-0,0962494	0,0001562
Кислоты:			
олеиновая	20,299930	-0,1087494	0,0001562
пальмитиновая	68,701363	-0,4250117	0,000685
жирные	16,699930	-0,0962494	0,0001562
смоляные	1	0	0

где  $P_i$  – упругость паров компонента;

$A_i, B_i$  – эмпирические коэффициенты, значения которых для компонентов талового масла приведены в табл. 1 [4];

$T$  – температура, К.

Нами выполнена аппроксимация зависимости коэффициентов относительной летучести для основных компонентов талового масла от температуры  $\alpha_i = f(t_i)$  и установлены коэффициенты уравнения, выраженного полиномом второй степени:

$$\alpha_i = B_{0i} + B_{1i}t + B_{2i}t^2,$$

где  $t$  – температура, °С.

Значения коэффициентов  $B_0, B_1, B_2$  приведены в табл. 2.

По нашему предложению на Соломбальском ЦБК для повышения выхода и улучшения качества товарных жирных кислот создана оригинальная схема парциальной конденсации (рис.1), объединяющая колонны ДЗЗ (1) и Д24 (7). При исследовании работы системы установлено, что она может быть применена и для выделения концентрата пальмитиновой кислоты (ПК). Из этого продукта путем кристаллизации достаточно легко выделяется



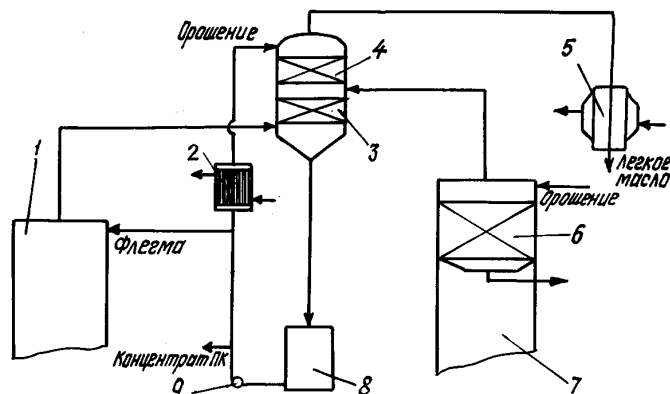


Рис. 1. Схема парциальной конденсации: 1 – ректификационная колонна отделения легкого масла; 2 – холодильник; 3, 4, 6 – парциальные конденсаторы; 5 – конечный конденсатор; 7 – ректификационная колонна отделения жирных кислот; 8 – приемник легкого масла; 9 – насос

чистая ПК, являющаяся ценным сырьем для косметической и фармацевтической промышленности [1].

Лабораторные и производственные испытания показали [2], что с использованием этой системы можно получать концентрат пальмитиновой кислоты с содержанием ПК от 5 до 40 % в зависимости от вида перерабатываемого таллового масла и условий процесса. При переработке листового таллового масла фракция легкого масла содержит больше ПК, чем при переработке хвойного, что объясняется различным содержанием смолистых веществ в разных видах древесины. Важными параметрами являются температура, давление, состав паров и степень конденсации.

Для исследования процесса и определения оптимальных условий его проведения нами разработан алгоритм и составлена программа расчета парциальной конденсации при ректификации таллового масла. С помощью этой программы рассчитаны концентрации компонентов. Расчеты проведены для 4-компонентной системы: смоляные кислоты и тяжелолетучие нейтральные вещества (ТНВ), олеиновая кислота (ОК), пальмитиновая кислота (ПК), легколетучие нейтральные вещества (ЛНВ). Результаты расчета в виде зависимости содержания ПК в жидкости и паре для парциальных конденсаторов (рис. 1) от степени конденсации приведены на рис. 2.

Из рис. 2, а, б видно, что при увеличении степени конденсации содержание ПК в паре возрастает (кривая 1), в жидкости – практически не изменяется (кривая 2). Оптимальная степень конденсации составляет 0,90 ... 0,95. На разделение смеси в значительной степени влияет коэффициент относительной летучести нейтральных веществ. Нейтральные вещества представляют собой широкий спектр компонентов, присутствие которых даже в малых количествах существенно изменяет летучесть жирных кислот,

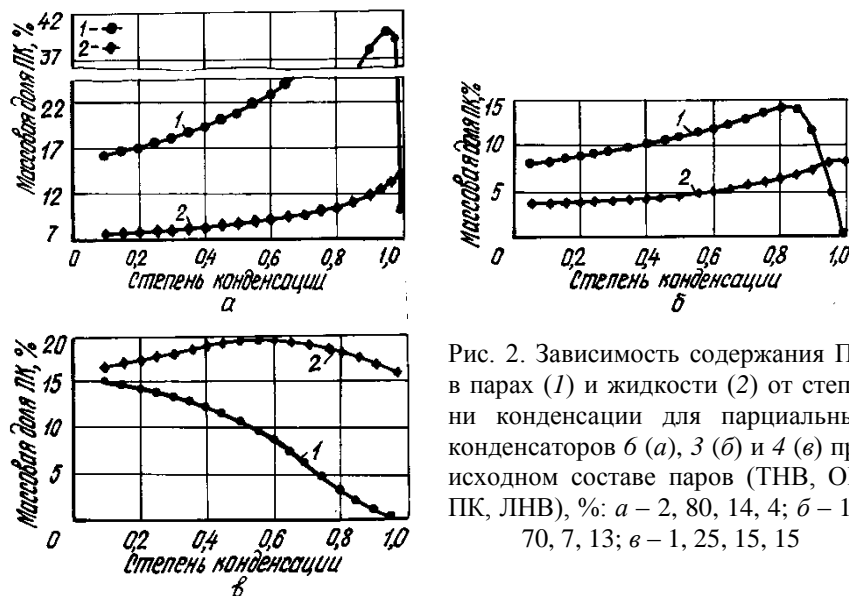


Рис. 2. Зависимость содержания ПК в парах (1) и жидкости (2) от степени конденсации для парциальных конденсаторов б (а), 3 (б) и 4 (в) при исходном составе паров (ТНВ, ОК, ПК, ЛНВ), %: а – 2, 80, 14, 4; б – 10, 70, 7, 13; в – 1, 25, 15, 15

в том числе и ПК. Наличие в парах легких нейтральных веществ типа терпенов, эвгенола, метилизэвгенола приводит к увеличению содержания ПК в стекающей жидкости. Из рис. 2, в видно, что максимальное количество ПК в жидкости достигается при степени конденсации 0,60 ... 0,70. При увеличении степени конденсации до 0,90 ... 0,95 содержание ПК в парах постепенно снижается почти до 0.

Система парциальной конденсации паров перегонной ванны на Солонбальском ЦБК позволяет существенно улучшить качество дистиллированного таллового масла (ДТМ). Массовая доля неомыляемых веществ снижается с 12 ... 14 до 7 ... 9 %, что дает возможность получать ДТМ непосредственно перегонкой листового масла, а при разделении хвойного таллового масла путем ректификации иметь ДТМ 1-го сорта.

Одним из основных товарных продуктов, получаемых из таллового масла, всегда была канифоль. Однако в последние годы рынок сбыта канифоли с каждым годом уменьшается. Одной из причин этого является снижение качества талловой канифоли. Так, массовая доля смоляных кислот в талловой канифоли – менее 80 %, температура размягчения – ниже 50 °С, массовая доля неомыляемых веществ – 8 ... 12 %. Для получения конкурентоспособной продукции необходимо приблизить свойства талловой канифоли к сосновой живичной канифоли (массовая доля смоляных кислот – более 85 %, неомыляемых веществ – менее 5 %).

Существующая технология отбора талловой канифоли вследствие широкого использования низкокачественного таллового масла не позволяет получать канифоль с высоким содержанием смоляных кислот. В работе А.Н. Трофимова [4] показано, что при переработке таллового масла с содержанием смоляных кислот менее 35 % путем ректификации получить качественную канифоль нельзя.

Таблица 3

Показатели	Значение показателей в пробе	
	1	2
Температура размягчения, °С	58,0	54,6
Кислотное число, мг КОН/г	168,4	161,4
Массовая доля, %:		
смоляных кислот	80,0	77,2
неомыляемых веществ	10,0	10,0

Таблица 4

Показатели	Значение показателей в пробе		
	1	2	3
Температура размягчения, °С	57,5	58,2	55,0
Кислотное число, мг КОН/г	170,3	171,6	162,3
Массовая доля, %:			
смоляных кислот	86,4	85,4	83,8
неомыляемых веществ	5,5	5,5	7,1
Число омыления	183,9	184,6	177,3

Опытно-промышленные испытания показали, что значительное улучшение качества талловой канифоли можно достигнуть при отборе ее из паровой фазы в кубовой части колонны. Первое испытание проводили при работе колонны без отбора канифоли. Результаты исследований качества полученной канифоли в пробах 1 и 2 из паровой фазы представлены в табл. 3. Несмотря на то, что перерабатывалось низкокачественное талловое масло (доля смоляных кислот – менее 25 %, кислотное число – менее 120 мг КОН/г) и режим колонны был настроен только на отбор ДТМ, получена достаточно хорошая канифоль.

Второе испытание проводили при работе колонны с отбором канифоли. Результаты определения качества канифоли приведены в табл. 4 (пробы 1 и 2 отобраны из паровой фазы, проба 3 – из жидкой фазы).

Как показывают данные табл. 3, 4, путем отбора из паровой фазы можно получить качественную канифоль. Особенно заметно возрастание кислотного числа и снижение массовой доли неомыляемых веществ.

Для дальнейшего повышения качества талловой канифоли нами предложено отбирать пары из кубовой части ректификационной колонны с их парциальной конденсацией. Исследование проводили путем математического моделирования. Для расчета состава и выхода канифоли применяли программу расчета парциальной конденсации для 4-компонентной системы: тяжелолетучие нейтральные вещества (ТНВ), смоляные кислоты (СК), жирные кислоты (ЖК) и легколетучие нейтральные вещества (ЛНВ). Результаты расчета парциальной конденсации паров, отбираемых из колонны (исходный состав, масс. %: ТНВ – 20; СК – 75; ЖК – 4; ЛНВ – 1) приведены на рис. 3, 4.

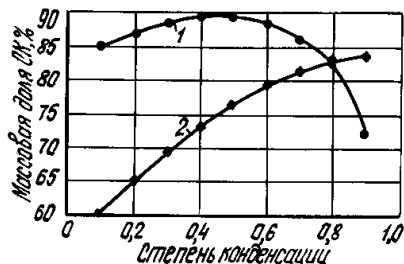


Рис. 3. Зависимость содержания смоляных кислот (СК) в парах (1) и жидкости (2) от степени конденсации



Рис. 4. Зависимость содержания СК (1), НВ (2), ЖК (3) в канифоли от степени конденсации

Из графиков видно, что при увеличении степени конденсации содержание смоляных кислот в паре проходит через максимум. Содержание жирных кислот возрастает, а нейтральных веществ постепенно падает. Оптимальная степень конденсации 0,2 ... 0,4.

Технология получения талловой канифоли путем отбора паровой фазы из куба ректификационной колонны с последующей парциальной конденсацией не требует дополнительных реагентов, энергетических затрат, экологически безопасна и позволяет получать высококачественную талловую канифоль.

#### Выводы

Показана возможность улучшения качества талловых продуктов при ректификации таллового масла путем применения парциальной конденсации паров, отбираемых из колонны. Разработаны алгоритм и программа расчета парциальной конденсации продуктов разделения таллового масла как многокомпонентной смеси. Результаты расчета составов получаемых смесей соответствуют производственным данным и дают возможность определять оптимальные режимы работы системы парциальной конденсации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нифантьева Н.А., Третьяков С.И., Селянина Л.И. Применение парциальной конденсации для получения концентрата пальмитиновой кислоты // Тез. докл. Всеросс. конф. «Химия и технология растительных веществ». – Сыктывкар, 2000. – С. 312.
2. Селянина Л.И. Получение концентрата пальмитиновой кислоты на установке парциальной конденсации // Лесн. журн. – 1999. – № 5. – С. 82–86. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Сийрде Э.К., Теаро Э.Н., Миккал В.Я. Дистилляция. – Л.: Химия, 1971. – 216 с.

---

4. Трофимов А.Н. Технология переработки талловых масел на основе совмещенного реакционно-ректификационного процесса: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Горький, 1991. – 49 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 28.01.02

*S.I. Tretyakov*

**Use of Partial Condensation in Tall Oil Rectification for  
Product Quality Improvement**

The possibility of producing new tall products in tall oil rectification by using partial condensation is demonstrated. The algorithm and program of partial condensation calculation for products of tall oil fractionation as multicomponent mixture are developed.



УДК 543.3

***И.В. Мискевич, К.Г. Боголицын***

Мискевич Игорь Владимирович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Ленинградское высшее инженерное морское училище, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 50 печатных трудов в области экологии водных объектов.



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.

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ВОД ПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ РЕК**

Показано, что при статистическом анализе характеристик качества вод приливных устьев рек целесообразно применять робастные параметры, при этом вместо среднеарифметического значения рекомендуется использовать медиану.

гидрохимическая характеристика, устья рек приливных морей, антропогенные воздействия.

Гидрохимические характеристики вод устьев рек приливных морей имеют большую пространственно-временную изменчивость, обусловленную приливами и их взаимодействием с другими природными явлениями. При этом колебания концентраций многих ингредиентов внутри устьевой системы могут на порядок превышать их соответствующие изменения в чисто речных и морских водах. Для многих устьевых областей рек типична значительная концентрация промышленных, транспортных и сельскохозяйственных объектов, сопровождающаяся четко выраженным антропогенным воздействием на качество эстуарных вод. Подобная ситуация приводит к появлению весьма сложных механизмов, формирующих химический состав вод приливных устьев рек в современных условиях.

Современные технологии комплексной переработки растительного сырья, реализуемые на предприятиях химико-лесного комплекса, относятся

к наиболее водоемким. Так, на производство 1 т целлюлозы потребляется 120 ... 170 м<sup>2</sup> воды, а доля загрязненных сточных вод целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих предприятий в общем промышленном сбросе составляет 19,4 %. Качество готовой продукции в значительной степени зависит от качества воды природного водоема, определяемого компонентным составом. Особенности Архангельской области обусловили концентрацию лесохимических предприятий в устьях наиболее крупных рек Белого моря – в дельте рек Северная Двина, Мезень, Онега, Кемь, Ковда. Поэтому характеристика особенностей статистического анализа параметров качества приливных устьев рек имеет особую актуальность для предприятий, интенсивно эксплуатирующих водные ресурсы.

Рациональное использование поверхностных вод и их охрана в условиях хорошо выраженного техногенного воздействия требует большого объема сведений о качестве этих вод. Данная задача может быть успешно решена при создании соответствующих информационных систем, опирающихся на мониторинг водной среды [1]. С другой стороны, прикладной эффект от подобной информации может быть получен лишь при применении показателей, адекватно отражающих состояние водного объекта. В противном случае предприятия-водопользователи будут иметь большие издержки в финансовом и технологическом отношениях, сопровождаемые возрастанием негативного влияния на устьевые экосистемы.

7\*

Для реализации практических задач в этой области чаще всего используют не первичные гидрохимические данные, а результаты их статистического анализа. При этом обычно применяют среднеарифметическое (среднее) значение и экстремумы для всего массива имеющихся величин. Реже используют среднеквадратичное (стандартное) отклонение и повторяемость концентраций исследуемых ингредиентов выше уровня ПДК. Другие статистики, как правило, применяют только при проведении специализированных исследований.

Известно, что среднее значение имеет максимальную эффективность для нормального и гамма-распределения [2]. Но данный параметр, а также стандартное отклонение теряют свою эффективность для асимметричных распределений с «утяжеленными хвостами» и для малых выборок с наличием даже одного выделяющегося значения («выброса») [3, 4, 10]. Например, из четырех сезонных наблюдений для трех сезонов отмечено содержание загрязняющего вещества 0,1 ПДК, для одного сезона – 10 ПДК, т.е. среднее значение за год составит 2,6 ПДК. Получаем формальный вывод о значительном загрязнении водной среды по исследуемому гидрохимическому показателю. Если подобную цифру использовать для разработки нормативов ПДС, то при их реализации потребуется очищать сточные воды по рассматриваемому поллютанту до уровня ПДК, что является весьма сложным и дорогим мероприятием.

В данной ситуации величина в 10 ПДК может быть результатом аналитической ошибки или реальной величиной, но имеющей очень малую по-

вторяемость (не более 5 ... 10 %). Разумеется, для получения достоверной информации необходимо увеличить количество наблюдений, но это требует времени и значительных финансовых затрат на дополнительные анализы. Приведенный пример ярко иллюстрирует пагубность формального отношения к статистической обработке гидрохимических наблюдений, хотя, как будет показано ниже, и для вышеупомянутых четырех значений можно получить достаточно корректный результат.

В зоне смешения речных и морских вод индикатором химического состава водной среды может служить соленость (минерализация), которая определяет степень распреснения соленых вод. В устьях рек неприливногo моря квазистационарное пространственное распределение солености вдоль водотока (водоема) в меженные периоды можно аппроксимировать экспоненциальной кривой, значения которой соответствуют набору средних величин для совокупности выделенных створов внутри устьевой системы [5]. Сравнительно небольшие пространственные колебания солености в пределах меженного периода формируют для вышеупомянутых створов массив ее значений, которые в большинстве случаев подчиняются нормальному статистическому распределению.

В приливных устьях рек ситуация может кардинально измениться. Хотя вдольэстуарный профиль солености, осредненный для меженного периода, также аппроксимируется экспоненциальной кривой, для большинства устьевых створов экстремумы за счет приливо-отливных явлений достигают отметок, характерных для чисто речных и морских вод. Таким образом, специфика гидродинамики приливных устьев рек обуславливает наличие для створов, расположенных в начале и в конце зоны смешения речных и морских вод, сильно выраженную асимметрию в статистическом распределении солености. В ее распределении появляется «хвост», в первом случае тяготеющий к высокой солености, во втором – к низкой солености. В середине зоны смешения речных и морских вод распределение солености будет в наибольшей степени отвечать нормальному закону. Аналогичная картина будет прослеживаться для основных ионов (натрий, калий, кальций, магний, хлориды, сульфат и иногда гидрокарбонаты) и для большинства биогенных и органических веществ, но для них меняется знак асимметрии, так как высокие концентрации этих соединений типичны для речных вод.

В условиях антропогенного влияния для многих гидрохимических показателей законы распределения могут быть сильно трансформированы, но наиболее характерной чертой для них является асимметричность и наличие «выбросных» точек, особенно, при нестабильной работе очистных сооружений или отсутствии таковых. Следовательно, как природные, так и техногенные факторы создают предпосылки для потери эффективности стандартных статистик (среднее значение и дисперсия) при обработке результатов наблюдений за качеством вод приливных устьев рек.

Для корректного статистического анализа данных при отклонении распределения от нормального закона или неизвестном законе распределения, а также при коротких выборках рекомендуется применять так называемые



мые робастные, или устойчивые (помехоустойчивые), подходы [2 – 4, 10]. Согласно Хьюберу [11], их можно подразделить на подходы, базирующиеся на применении  $L$ -,  $R$ - и  $M$ -оценок. Первые представляют из себя линейные комбинации порядковых статистик (медиана, усеченное среднее, винзоризованное среднее и т.п.).  $R$ -оценки определяют с помощью ранговых статистик,  $M$ -оценки – аналогично методу максимального правдоподобия с помощью различных весовых функций.

Принято считать, что наиболее удачно в робастной статистике использование  $M$ -оценок, так как другие подходы не допускают удобных обобщений в многопараметрических ситуациях [6], правда их расчет требует итерационных процедур и сложен для варианта «ручного» вычисления. В однопараметрических задачах, к которым обычно относятся статистические исследования гидрохимических характеристик для выделенного створа (точки), весьма привлекательным является применение  $L$ -оценок из-за простоты их вычисления и смысловой сопоставимости со стандартными статистиками. Анализ литературных источников показывает, что для изучения состояния различных природных сред и гидрохимических показателей в качестве оценки центра распределения, в частности, рекомендуется использовать медиану и трехсреднее значение Тьюки (центральное среднее), а в качестве оценки масштаба распределения – интерквартильный размах и медиану абсолютных отклонений [2, 7 – 9, 11].

Медиана делит ранжированную выборку данных пополам, ее определяют по формуле

$$C_i = \begin{cases} C_{(n+1)/2}, & \text{если } n - \text{нечётное;} \\ 0,5 (C_{n/2} + C_{n/2+1}), & \text{если } n - \text{чётное,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $n$  – число данных в выборке.

Трехсреднее значение находят по выражению

$$C_T = 0,25 (C_{0,25} + 2C_M + C_{0,75}), \quad (2)$$

где  $C_{0,25}$  и  $C_{0,75}$  – квартили, или медианы, для половинок выборки.

Интерквартильный размах определяют по формуле

$$H = C_{0,75} - C_{0,25}.$$

Медиана абсолютных отклонений (МАО) является медианой для выборки, сформированной из разностей между  $C_M$  и  $C_i$ .

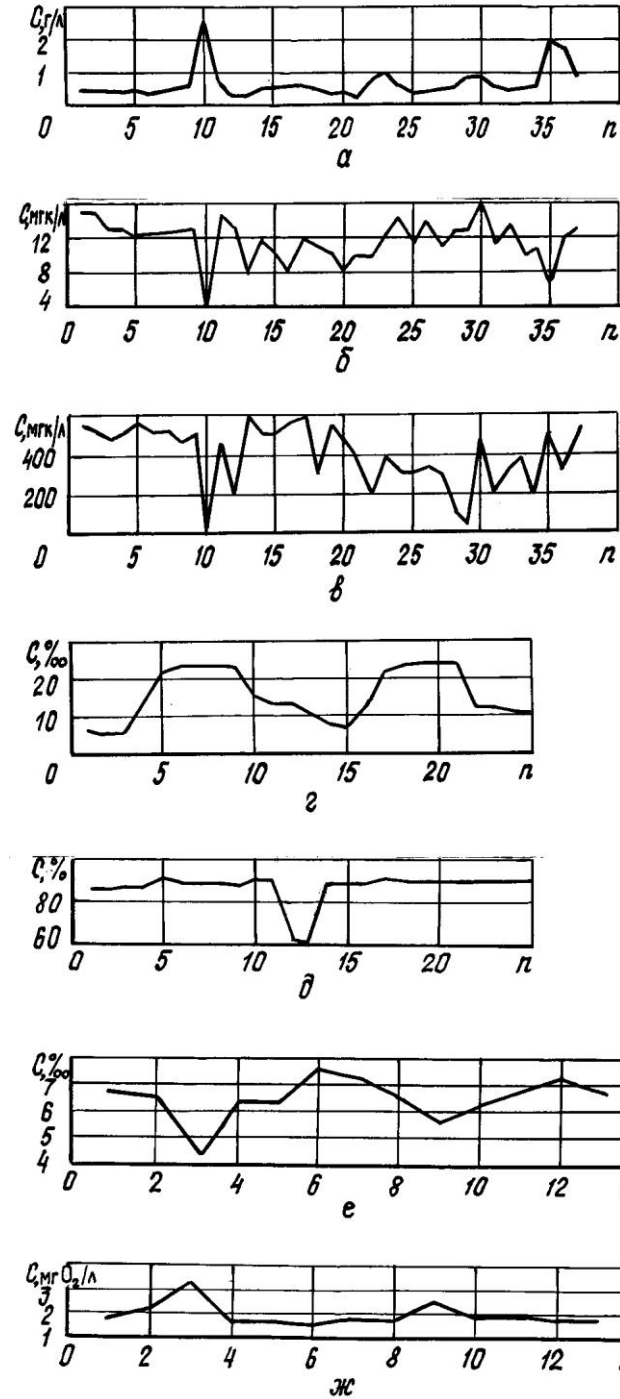
Для нормального распределения среднее значение, медиана и трехсреднее значение совпадают. Это позволяет пользователю, слабо разбирающемуся в статистике, рассматривать вышеприведенные робастные параметры как улучшенную версию среднеарифметического значения и устраняет сложности при интерпретации и использовании полученных результатов в практических задачах. Действительно, медиана для малой выборки из генеральной совокупности с наличием «выбросов» в большинстве случаев будет больше соответствовать среднему значению для этой совокупности, чем среднее значение для малой выборки. Специальные исследования показали, что при  $n \leq 5$  лучше использовать медиану, а при  $n > 5$  – трехсреднее значение [10]. Если взять ранее упоминавшийся теоретический пример для четы-

рех наблюдений, то получим, что  $C_m = 0,1$  ПДК, т.е. уровень загрязнения за год сильно меняется по сравнению с расчетами, когда используют среднее значение. Стандартное отклонение  $\sigma$  связано с робастными оценками изменчивости данных следующими соотношениями:

$$H = 1,34\sigma; \text{MAO} = C_m + 0,67\sigma.$$

Для иллюстрации эффективности использования робастных статистик на реальных примерах выполним статистический анализ результатов гидрохимических наблюдений, сделанных в трех устьевых областях рек Белого моря: в протоке Кузнечиха дельты р. Северная Двина (29-й лесозавод), в устье р. Кемь (причал морпорта), в кутовой части Унской губы (мыс Красный). Эти точки были выбраны с учетом необходимости отразить воздействие приливных явлений.

Исследования протоки Кузнечиха проводили в течение трех суток (8–11 апреля 1987 г.) с дискретностью 2 ч. Они включали в себя определение хлоридов, аммонийного и нитритного азота. Рассматриваемый участок в зимнюю межень располагается в начале зоны смешения речных и морских вод и испытывает влияние сточных вод Соломбальского ЦБК, 29-го лесозавода и других промышленных объектов. Здесь расположен водозабор 29-го лесозавода и планируется разместить водозабор для строящегося метанолевого завода. Общее число наблюдений в протоке Кузнечиха по каждому ингредиенту составило 37.



Короткопериодные изменения содержания  $C$  хлоридов (а), нитритного (б) и аммонийного (в) азота в протоке Кузнечиха, солёности (г) и насыщенности кислородом (д) в устье р. Кемь, солёности (е) и насыщенности кислородом (д) в устье р. Кемь, солёности (е) и  $BPK_5$  (ж) в кутовой части Унской губы

На представленном рисунке *a* для хлоридов отчетливо наблюдается влияние морских вод, связанное с приливами. Отметим, что в полную воду приливного цикла в этой точке отбора фиксировались значения, которые на порядок превышали основной массив наблюдений. Подобной изменчивости отвечает статистическое распределение с явно выраженной правосторонней асимметрией.

Для нитритного и аммонийного азота прослеживается левосторонняя асимметрия, обусловленная подходом на рассматриваемый участок в фазу прилива более чистых морских вод (см. рисунок *b, в*).

Поверхностные воды устья р. Кемь исследовали в течение суток (11 октября 1988 г.) с дискретностью 1 ч на предмет определения солености и содержания кислорода. Точка отбора проб располагалась в середине зоны смешения речных и морских вод, примерно на 100 м ниже по течению от Кемского лесозавода. Для статистического анализа были выбраны не абсолютные значения содержания кислорода, а насыщенность им воды. Этот показатель прямо не связан с колебаниями температуры и солености морских вод. Как видно из рисунка *г, д*, в течение суток было зафиксировано кратковременное аномальное понижение этого показателя, очевидно связанное с выносом обедненных кислородом вод из сортировочного бассейна Кемского лесозавода на максимуме скорости отливного течения. В этой ситуации в статистическом распределении насыщенности вод кислородом прослеживается левосторонняя асимметрия. Для солености признаки явной асимметричности отсутствуют.

Наблюдения в кутовой части Унской губы около мыса Красный проводили на поверхностном горизонте в течение суток с дискретностью 2 ч. Точка отбора проб воды располагалась в начале зоны смешения речных и морских вод, где процессы распреснения носят сложный характер и определяются стоком ряда небольших рек. При этом определяли (см. рисунок *е, ж*) соленость и биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>). Слабо выраженную асимметрию в статистическом распределении изучаемых показателей генерирует сток рек Карбасовка и Бабья, что хорошо прослеживается на малой воде приливного цикла.

Для анализа изменчивости оценок центра распределения исследуемых данных из исходного объема наблюдений создадим ряд выборок, соответствующих различной дискретности отбора проб в течение трех суток для протоки Кузнечиха и в течение суток для других водных объектов. При этом обязательно будем захватывать первое и последнее (или предпоследнее) наблюдения. Таким образом, для р. Кузнечиха помимо исходной выборки в 37 значений получим еще 9 промежуточных выборок, имеющих объем в 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 19 значений, которым соответствует дискретность отбора проб воды от 36 до 4 ч. Для устья р. Кемь будем иметь исходную выборку в 25 значений и 6 промежуточных выборок с объемами 3, 4, 5, 7, 9, 13 значений, для Унской губы – исходную выборку в 13 значений и 4 промежуточные выборки с объемами 3, 4, 5, 7 значений.

Таблица 1

**Статистические характеристики содержания хлоридов, нитритного и аммонийного азота в протоке Кузнечиха в зависимости от дискретности отбора проб воды в течение 3-х суток (апрель 1987 г.)**

Число наблюдений, $n$	Хлориды, г/л			Азот, мкг/л					
				нитритный			аммонийный		
	$C_c$	$C_m$	$C_T$	$C_c$	$C_m$	$C_T$	$C_c$	$C_m$	$C_T$
3	0,52	0,42	0,46	12,6	12,6	12,6	533	5540	538
4	0,45	0,38	0,42	11,6	11,8	11,7	490	530	508
5	0,92	0,53	0,57	10,9	12,4	11,9	346	510	415
6	0,78	0,59	0,62	12,0	12,0	11,9	355	395	385
7	0,44	0,40	0,41	11,5	11,1	11,4	451	510	489
8	0,61	0,49	0,45	12,0	12,0	12,1	414	440	432
10	0,48	0,46	0,46	11,6	12,2	11,6	436	490	472
13	0,64	0,53	0,50	10,6	10,8	10,9	364	480	420
19	0,58	0,48	0,49	11,4	12,0	11,8	428	460	450
37	0,62	0,48	0,48	11,5	12,0	11,9	389	450	425
	Стандартное отклонение $\sigma$								
	0,151	0,065	0,065	0,564	0,551	0,444	60,4	44,9	47,5
	Коэффициент вариации $K_v$								
	25,6	13,6	13,4	4,9	4,6	3,8	14,3	9,3	10,5
	Размах значений $P$								
	0,46	0,21	0,21	2,0	1,8	1,7	187	145	153

Критерием эффективности используемого показателя будем считать его устойчивость к изменениям числа наблюдений в период, охватываемый тремя сутками. Другими словами, чем меньше он будет зависеть от параметра  $n$ , тем корректнее будет его использование как статистики в прикладном отношении. Эту задачу можно решить, используя такие оценки, как размах значений (разница между максимумом и минимумом), среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. Результаты соответствующих вычислений представлены в табл. 1–3 ( $C_c$  – среднее значение,  $K_v$  – коэффициент вариации,  $P$  – размах значений, остальные обозначения взяты из уравнений (1), (2)).

Анализ полученных статистик указывает на предпочтительность использования медианы и трехсреднего значения по сравнению со средним арифметическим. Для хлоридов в водах Кузнечихи стандартное отклонение для средних значений на порядок превышает величины этого параметра для робастных статистик. В итоге за счет влияния наблюдений, составляющих не более 6 % от общего объема, можно сделать неправильный вывод о сильном фоновом осолонении вод на рассматриваемом участке р. Кузнечиха, что может, в свою очередь, привести к ошибке, например, в случае выбора технологической системы для обессоливания дельтовых вод при необходимости их забора. Так, для кутовой части Унской губы при семиразовом отборе проб воды в течение суток можно получить ошибочный вывод о превышении среднесуточной величины уровня ПДК.

Таблица 2

Статистические характеристики солености и насыщенности вод кислородом в устье р. Кемь в зависимости от дискретности отбора проб воды в течение суток (октябрь 1988 г.)

Число наблюдений, $n$	Соленость, ‰			Насыщенность кислородом, %		
	$C_c$	$C_m$	$C_t$	$C_c$	$C_m$	$C_t$
3	9,24	10,63	10,08	77	85	82
4	15,38	16,18	15,78	87	86	87
5	14,97	10,78	13,83	82	87	87
7	15,95	15,37	15,91	84	87	87
9	14,14	12,09	12,58	84	87	87
13	15,58	13,42	15,08	85	87	87
25	15,43	13,28	15,12	85	87	87
	Стандартное отклонение $\sigma$					
	2,34	2,13	2,11	3,2	0,8	1,9
	Коэффициент вариации $K_v$					
	16,3	16,3	15,0	3,8	0,9	3,7
	Размах значений $P$					
	6,71	5,55	5,83	10	2	5

Таблица 3

Статистические характеристики солености и БПК<sub>5</sub> в водах Унской губы у мыса Красный в зависимости от дискретности отбора проб воды в течение суток (июнь 1996 г.)

Число наблюдений, $n$	Соленость, ‰			БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /л		
	$C_c$	$C_m$	$C_t$	$C_c$	$C_m$	$C_t$
3	6,87	6,98	6,94	1,81	1,82	1,81
4	6,40	6,50	6,45	1,96	1,81	1,88
5	6,60	6,62	6,62	1,81	1,82	1,82
7	6,26	6,62	6,53	2,13	1,82	1,92
13	6,42	6,39	6,50	1,98	1,82	1,84
	Стандартное отклонение $\sigma$					
	0,24	0,22	0,20	0,13	0,04	0,05
	Коэффициент вариации $K_v$					
	3,7	0,3	0,3	6,9	0,2	2,4
	Размах значений $P$					
	0,61	0,59	0,49	0,32	0,01	0,11

Сравнение медианы и трехсреднего значения не выявило явных преимуществ ни одной из статистик. С другой стороны, при прикладных исследованиях качества устьевых вод целесообразнее ориентироваться на медиану, как на стандартный показатель, легко определяемый по программе Excel на компьютере. Для оценки масштаба изменчивости исследуемых данных рекомендуется находить квартили (25 %-е точки) и интерквартильный размах.

Полученные результаты позволяют говорить о необходимости применения медианы, как обязательного компонента информационной системы, связанной с обработкой и использованием результатов мониторинга качества вод устьев рек приливного моря. Помимо более адекватного отражения состояния водной среды медиана и другие робастные статистики дают возможность проводить корректные сравнения экологических ситуаций, обеспеченных различным числом наблюдений. Реализация подобного подхода в приложении к экологическим проблемам многих предприятий лесной и целлюлозно-бумажной промышленности несомненно поможет их эффективному решению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Благовецкий Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А.* Непараметрические методы в почвенных исследованиях. – М.: Наука, 1987. – 95 с.
2. *Боголицын К.Г.* Разработка научных основ экологически безопасных технологий комплексной химической переработки древесного сырья // Лесн. журн. – 1998. – № 2-3. – С. 40–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Компьютерная биометрика // Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 232 с.
4. Метод анализа сезонной изменчивости неэквидистантных временных рядов гидролого-гидрохимических данных / С.М. Микулинская, Н.Н. Михайлов, В.А. Рожков, И.С. Шпаер // Режимобразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 109–132.
5. *Микулинская С.М., Рожков В.А.* Обработка малых выборок // Режимобразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 167–176.
6. *Павелко В.Л.* Пути совершенствования методов расчета оценок качества вод // Гидрохимические материалы. – 1981. – Т. LXXVIII. – С. 32–41.
7. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния / Ф. Хампель, Э. Ронгетти, П. Рауссеу, В. Штаэль. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
8. Справочник по гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 392 с.
9. *Тьюки Д.* Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 688 с.
10. *Харлеман Д.Р., Инпен А.Д., Кейлеган Д.Т.* Гидродинамика береговой зоны и эстуариев. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 394 с.
11. *Хьюбер П.* Робастность в статистике. – М.: Мир, 1984. – 303 с.

Институт экологических проблем Севера УрОРАН  
Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 20.10.2000 г.

*I.V. Miskevich, K.G. Bogolitsyn*

#### **Some Special Features of Statistical Analysis for Water Quality Parameters of Tidal River Mouth**

The use of robust parameters is shown to be expedient under the statistical analysis of water quality characteristics of tidal river mouth, median being recommended to be used instead of arithmetical mean value.

---

УДК 630\*86

*О.Ф. Горбунова, С.А. Вербицкая, К.Г. Боголицын*

### **БАЛАНС СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ АЗОТНОКИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ В ВОДНОЙ И ВОДНО-ЭТАНОЛЬНОЙ СРЕДАХ**

Установлено изменение количества азотсодержащих веществ в составе отработанных щелоков и растворах для улавливания неконденсируемых газообразных продуктов, определяемых в виде нитрат-, нитрит- и цианид-ионов в зависимости от условий азотнокислотно-щелочной обработки древесины.

древесина, делигнификация, азотная кислота, азотсодержащие продукты.

В процессе двухстадийной азотнокислотно-щелочной делигнификации древесины образуется ряд азотных соединений (оксиды, синильная кислота и др.), которые могут быть обнаружены в щелоках I и II стадий варки, а также в промывных водах и в газообразных продуктах варки.

Цель данной работы – определить какое количество соединений азота и в каком преимущественно виде находится в указанных объектах.

Обработку древесины растворами азотной кислоты осуществляли в круглодонной колбе с обратным холодильником, из которого неконденсируемые газы поступали в поглотительные склянки [1]. В эксперименте использовали осиновою, березовую и еловую щепу (масса 10 г), азотную кислоту концентрацией 70 ... 150 г/л при жидкостном модуле 5. Обработка древесины включала пропитку кислотой при комнатной температуре (1,0 ... 2,0 ч) и температуре 55 ... 60 °С (1,0 ... 2,0 ч) и варку при 90 ... 95 °С (2,0 ... 2,5 ч). После этого древесно-волоконистую массу отделяли от кислого маточного раствора (щелока), промывали, обрабатывали раствором щелочи на II стадии в течение 1,0 ... 1,5 ч при температуре 85 ... 90 °С. После обработки щелочным раствором оставшуюся массу промывали и высушивали. Нагрев реакционной смеси проводили на водяной бане.

Газообразные соединения азота поглощали последовательно в двух растворах: 4 %-м водном гидроксиде натрия и 6 %-м водном пероксиде водорода. В первом из них поглощались диоксид азота и синильная кислота, во втором – оксид азота [7].

Определение нитрат-ионов осуществляли электрофотоколориметрическим методом при длине волны  $\lambda = 540$  нм после реакции исследуемых растворов с сульфаниловой кислотой [6]. Для количественного определения нитрат-ионов использовали их способность восстанавливаться на ртутной капле при потенциале  $-1,75 \dots -1,78$  В на фоне 20 %-го водного хлорида кальция [5]. Определение проводили методом калибровочных линий в ин-



тервале концентраций 0,001 ... 0,020 мг/мл. На анализ отбирали 0,05 ... 0,10 мл исследуемых растворов и после нейтрализации (щелочью или кислотой в зависимости от pH) объем довели до 20 мл 20 %-м хлоридом кальция.

После продувки растворов гелием записывали полярограммы на полярографе ПУ-1 в интервале от  $-1,2$  ...  $-1,3$  до  $2,0$  В в переменном токовом режиме ТАСТ с принудительным отрывом ртутных капель при времени задержки 1,1 с. В качестве электрода сравнения использовался хлорсеребряный электрод, индикаторным электродом служила ртутная капля (время задержки 7 с). Для определения цианид-ионов использовали полярографический метод [2, 3].

Результаты анализа щелоков и поглотительных растворов после обработки древесины (без отделения пропиточного раствора) представлены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, основное количество нитрат-ионов определено в кислом щелоке и промывной воде I стадии. Оно составляет 11,60 ... 32,30 % от древесины (или 35 ... 55 % от загруженной кислоты) и зависит от концентрации и количества загружаемой на варку кислоты. В щелоке после II стадии количество нитрат-ионов составляло 1,00 ... 5,00 % и зависело как от тщательности промывки массы на I стадии, так и от концентрации кислоты, используемой на варку. Содержание нитрат-ионов ( $\text{NO}_2^-$ ) в щелоках было незначительным и в сумме не превышало 0,10 % от древесины (в пересчете на  $\text{NO}_3^-$ ).

В щелочных поглотителях, где улавливались двуокись азота и синильная кислота, количество определяемого нитрат-иона составляло 0,42 ... 1,93 %, нитрит-ионов – 0,70 ... 0,90 %, цианид-ионов – 1,00 ... 2,10 % от древесины (в пересчете на  $\text{NO}_3^-$ ). Большая часть летучих азотсодержащих продуктов (3,25 ... 9,14 %), образующихся из окиси азота, поглощалась в поглотителе с перекисью водорода. В присутствии этанола количество нитрат-ионов, образующихся в перекисном поглотителе, увеличивалось до 13,00 %. Суммарное количество летучих азотсодержащих продуктов составило 5,66 ... 12,09 % при использовании водной среды. Найденное по разности (между количеством загруженной и определяемой в виде остаточного нитрат-иона) количество кислоты (14,43 ... 17,66 %) расходовалось на реакции с лигнином и углеводами и образование органически связанного азота (нелетучие нитросоединения), а также терялось в виде нерегенерируемого азота и закиси азота, количество последних при пересчете на  $\text{NO}_3^-$  в сумме равнялось 17,00 ... 19,00 % [9].

В другой части наших исследований делигнификации осинового щепы использовали схему, включающую предварительную пропитку водой в течение 10 ч при комнатной температуре. После удаления водного экстракта проводили пропитку кислым раствором при температуре 55 ... 60 °С

Таблица 1

**Определяемые азотосодержащие вещества в щелоках и поглотительных растворах  
при азотнокислотно-щелочных варках древесины**

Загружено кислоты на варку, % от древесины	Определено, % от древесины, в пересчете на $\text{NO}_3^-$ в виде									Расход азотной кислоты ( $\text{NO}_3^-$ ) (нерегенери- рующей) % от древесины	Выход целлюлозной массы/непро- вара, %
	нитрат-ионов ( $\text{NO}_3^-$ )				нитрит-ионов ( $\text{NO}_2^-$ )		цианид- ионов ( $\text{CN}^-$ )	всего			
	в щелоке стадии		в щелочном поглотителе за счет $\text{NO}_2^-$	в щелочном поглотителе с $\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{NO}^-$ )	в щелоке стадии						
	I	II			I	II					
	Береза										
36,30	14,10	1,00	0,85	4,50	0,04	0,05	0,54	1,00	22,08	14,22	47,0/1,2
»	14,70	1,30	1,03	3,25	0,03	0,04	0,97	1,26	22,56	14,74	45,4/2,7
»	13,62	1,80	0,42	3,30	0,04	следы	0,44	1,50	21,12	15,18	47,7/1,2
»	11,68	1,50	1,26	4,47	0,03	0,04	0,97	1,35	21,30	15,00	49,6/0,0
»	11,43	1,25	1,41	4,65	0,04	0,06	0,70	1,73	21,27	15,03	47,1/1,1
51,60	19,46	2,39	0,84	9,14	–	–	–	2,11	33,94	17,66	45,0/0,0
	Ель										
59,60	32,32	4,29	1,32	6,02	–	–	–	1,22	45,17	14,43	45,0/6,5
51,60	22,15	1,35	1,93	7,50	–	–	–	1,83	34,76	16,82	46,8/4,2
	Осина										
51,60	21,48	5,04	1,58	6,55	–	–	–	1,48	36,13	15,47	48,6/2,0
47,83*	12,67	3,69	0,17	13,00	–	–	–	0,02	29,55	18,28	47,2/3,7
46,10*	12,63	2,50	0,44	11,20	–	–	–	–	26,77	19,33	48,5/2,6

\* Варки проводили в среде этанол–вода (1:1), остальные – водные.



Таблица 2

## Влияние отделения пропиточных растворов на расход азотной кислоты при делигнификации осинового щепы

Количество этанола, об. %	Загружено кислоты на пропитку, % от древесины	Определено кислоты, % от древесины, в пересчете на $\text{NO}_3^-$										Расход азотной кислоты ( $\text{NO}_3^-$ ) (нерегенерирующейся), % от древесины	Выход целлюлозной массы/непривара, %
		после 2 ч пропитки при 60 °С					после 2 ч варки при 90...95 °С						
		слитой с пропиточным раствором	в поглотителе с $\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{NO}^-$ )	осталось с древесиной	остаточное содержание на варку, г/л	в щелоче стадии		в поглотителе с $\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{NO}^-$ )	в щелочном поглотителе за счет		всего		
						I	II		$\text{CN}^-$	$\text{NO}_2^-$			
0	77,1*	44,45	...	32,65	65,30	10,89	2,57	7,00	1,62	0,93	67,45	9,54	49,7/2,25**
0	54,7	37,15	...	22,15	45,70	7,95	0,56	1,37	0,76	0,37	48,15	6,50	63,3/4,55**
0	36,0	21,60	1,78	12,62	25,24	3,91	...	2,45	...	...	27,96	8,04	49,3/0,84
5	38,5	20,20	2,96	15,34	30,68	4,04	...	4,41	...	...	28,45	9,55	49,7/1,68
10	37,5	16,15	4,20	17,15	34,30	2,75	1,23	6,10	0,32	0,46	27,01	10,49	47,5/2,40
20	36,0	15,10	5,10	15,50	31,00	2,70	1,55	6,50	0,21	0,13	26,19	9,81	48,5/3,30
30	40,6	17,00	6,50	17,10	34,20	3,60	1,46	7,90	0,19	0,25	30,40	10,20	51,5/1,40
40	40,1	15,80	7,40	16,90	33,80	3,40	1,76	8,30	0,09	0,15	29,49	10,61	50,5/2,60
50	36,0	13,70	4,70	16,70	33,40	3,40	1,70	7,10	0,02	0,17	26,09	9,91	52,5/2,00

\* На пропитку загружали сухую щепу; в остальных случаях пропитку проводили при комнатной температуре в течение 10 ч водой или раствором этанол–вода соответствующей концентрации, пропиточный раствор сливали и заменяли соответствующим количеством водного или этанол–водного кислотного раствора.

\*\*На II стадии использовали аммиачный раствор, в остальных случаях – гидроксид натрия.



в течение 2 ч, кислый раствор заменяли равным по объему количество воды. Варку вели при температуре 90 ... 95 °С и более низком остаточном содержании кислоты (табл. 2). При этом отмечены более низкие количества окиси азота (1,37 ... 2,45 %) и цианид-ионов (0,76 %). В результате разность между загруженной и определяемой после варки кислоты (в пересчете на  $\text{NO}_3^-$ ) снижалась до 6,50 ... 8,00 % (от древесины), т. е. почти в 2 раза.

В табл. 2 также представлено влияние добавок этанола при делигнификации осинового щепы. При этом на всех стадиях обработки вместо воды использовали растворы этанол–вода соответствующих концентраций. Полученные данные показывают, что с увеличением концентрации этанола происходит значительный рост количества нитрат-ионов, определяемых в поглотителе с перекисью водорода, что свидетельствует об увеличении образования окиси азота (NO). С увеличением концентрации этанола от 0 до 40 ... 50 % количество нитрат-ионов в перекисном поглотителе повышалось от 2,45 до 7,10 ... 8,30 %. Следует отметить, что основное количество  $\text{NO}_3^-$ , определяемое в перекисном поглотителе, образуется на начальной стадии обработки древесины (пропитка при температуре 55 ... 60 °С), дальнейшее увеличение не превышает 1,50 ... 2,40 %. При варке осинового щепы без отделения кислого пропиточного раствора в поглотитель с перекисью водорода также поступало значительное количество NO, которое составляло 6,55 % в водной среде и 13,00 % в этанольно-водной среде.

При проведении холостого опыта (без древесины) в этанольно-водной среде (100 г/л кислоты, 10 % этанола) в перекисном поглотителе было определено 13,80 ... 15,00 % ( $\text{NO}_3^-$ ) азотной кислоты от кислоты, загруженной на варку, в опытах с древесиной при том же содержании этанола – 16,20 %. В холостом опыте в водной среде нитрат-ионов в поглотителе не обнаружено.

Увеличение количества определяемых нитрат-ионов в перекисном поглотителе при обработке древесины в этанольно-водной среде можно объяснить образованием нитрозо- и нитро-эфиров (этилнитрит и этилнитрат) дополнительно к метилнитриту, который образуется при деметилировании лигнина в процессе азотнокислотной делигнификации. В щелочном поглотительном растворе они гидролизуются с образованием этилового спирта и окиси азота, которая в перекисном поглотителе превращается в азотную кислоту.

Если без отделения кислого пропиточного раствора количество неопределяемого нитрат-иона (расход на варку) составляет 18,28 ... 19,33 % для этанольно-водной среды и 15,50 ... 17,60 % для водной среды (табл. 1), то при отделении кислого пропиточного раствора и замены его водой или этанольно-водным раствором без кислоты оно составляет 6,50 ... 10,60 %.

Использование щепы, пропитанной водой, приводит к снижению образования окислов азота и цианид-ионов, по-видимому, как за счет удале-

ния низкомолекулярных фрагментов лигнина, так и проведения варки ( $t = 90 \dots 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при низкой остаточной кислотности.

После варок в этанольно-водной среде количество определяемого цианид-иона уменьшилось от 0,76 % без этанола до 0,09 ... 0,02 % при 40 ... 50 % этанола (от древесины, в пересчете на  $\text{NO}_3^-$ ), по-видимому, за счет реакций с альдегидными группами соединений, образующихся в присутствии этанола [4, 8].

Таким образом, количество улавливаемых азотосодержащих газообразных продуктов при азотнокислотной обработке древесины в зависимости от используемой концентрации азотной кислоты колеблется в пределах 5,60 ... 12,00 % и может быть снижено до 2,40 % при использовании водной среды и отделении кислых пропиточных растворов, что сопровождается снижением количества нерегенерируемой азотной кислоты до 6,50 ... 8,00 %. Обработка древесины в этанольно-водных растворах приводит к снижению содержания цианид-ионов от 0,76 (без этанола) до 0,02 ... 0,10 % (при 40 ... 50 % этанола).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунова О.Ф., Асютченко Л.В., Богомолов Б.Д. Влияние условий азотнокислотно-щелочной обработки на поведение лигнина при делигнификации древесины // Лесн. журн. – 1996. – С. 41–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Горбунова О.Ф., Асютченко Л.В., Богомолов Б.Д. Полярографическое определение цианид-ионов // Лесн. журн. – 1992. – № 6. – С. 80–84. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Горбунова О.Ф., Вербицкая С.А., Герасимова Л.В. Исследование образования цианид-ионов на модельных соединениях в условиях азотнокислотно-щелочной делигнификации древесины // Лесн. журн. – 1993. – № 2-3. – С. 179–183. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Карер Г. Курс органической химии. – М.: Госхимиздат, 1962. – 1216 с.
5. Крюкова Т.А., Синякова С.И., Арефьева Т.В. Полярографический анализ. – М.: Госхимиздат, 1959. – 772 с.
6. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 446 с.
7. Сорокин В.И., Бакина Г.Г. Влияние условий азотнокислотной варки древесины на состав газообразных продуктов // Химия древесины. – 1976. – № 1. – С. 75–77.
8. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. – М.: Химия, 1966. – 975 с.
9. Шорыгина Н.Н., Резников В.М., Елкин В.В. Реакционная способность лигнина. – М.: Наука, 1976. – 367 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 10.12.98

---

*O.F. Gorbunova, S.A. Verbitskaya, K.G. Bogolitsyn*

**Nitrogen Compound Balance Formed under Nitric-acid-and-alkaline  
Delignification of Wood in Water and Water-ethanol Media**

Changing of quantity of nitrogenous agents has been found out within the composition of spent liquors and solutions for recovery of non-condensed gaseous products determined as nitrate, nitrite and cyanide ions depending on conditions of nitric-acid-alkaline wood treatment.

---



УДК 628.336.3

*О.А. Жвакина, Е.Д. Гельфанд*

Жвакина Оксана Анатольевна родилась в 1977 г., окончила с отличием в 1999 г. химико-технологический факультет Архангельского государственного технического университета. Аспирант кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатных работы в области переработки осадков сточных вод.



Гельфанд Ефим Дмитриевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 340 печатных трудов и 140 изобретений в области химической технологии древесины и биотехнологии.



## **О СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ЦБП С ЗОЛОЙ ТЭС**

Установлено, что добавление золы ТЭС к осадкам сточных вод позволяет интенсифицировать процессы уплотнения и фильтрации.

активный ил, осадки, зола, флокулянт, совместная переработка.

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности являются одними из наиболее мощных источников отходов, в частности осадков сточных вод (ОСВ), переработка и складирование которых сопряжены со значительными затратами. Наряду с ОСВ на этих предприятиях в качестве отходов образуется зола от сжигания каменного угля в количествах, превышающих ОСВ. В настоящее время ОСВ и зола теплоэлектростанций (ТЭС) транспортируются в соответствующие накопители отходов отдельно.

В результате исследований, проведенных в Архангельском государственном техническом университете, установлено, что механическое смешение золы ТЭС с обезвоженными ОСВ приводит к получению материала, обладающего уникальными свойствами, позволяющими использовать его в новых направлениях, например в качестве плодородного слоя на газонах, плодородного горизонта при рекультивации отслуживших срок накопителей производственных отходов, изоляционного покрытия на накопителях про-

мышленных и бытовых отходов, противофильтрационного экрана на полигонах захоронения промышленных и бытовых отходов\*.

В связи с этим представляет интерес исследовать возможность и целесообразность совместной переработки ОСВ с золой, поскольку не исключено, что при этом могут быть выявлены новые положительные эффекты.

Исследования проводили на образцах ОСВ и золы ТЭС Соломбальского ЦБК. Зола в осадки вводили двумя способами: а) перед стадией уплотнения осадков (при этом изучали влияние золы на уплотнение осадков, качество надосадочной жидкости, фильтруемость осадков); б) перед фильтрацией в уплотненные осадки (при этом изучали влияние золы на фильтруемость осадков и качество фильтрата).

В пробных опытах было установлено, что добавление золы ТЭС к суспензии активного ила (АИ) заметно ускоряет его седиментацию. При этом не имеет значения откуда взята зола: непосредственно из-под колосников топки, из системы гидротранспорта или золоотвалов различной давности хранения.

Выявлено, что на эффективность процесса влияет размер частиц золы (рис. 1), однако изучение фракционного состава различных образцов золы показало, что все они на 85 ... 90 % состоят из частиц размером менее 0,5 мм, следовательно проводить фракционирование нецелесообразно.

Рис. 1. Зависимость объема уплотненного осадка (УО) от размера частиц во фракциях золы (расход золы 85 % к абс. сухим веществам АИ, продолжительность отстаивания 90 мин)

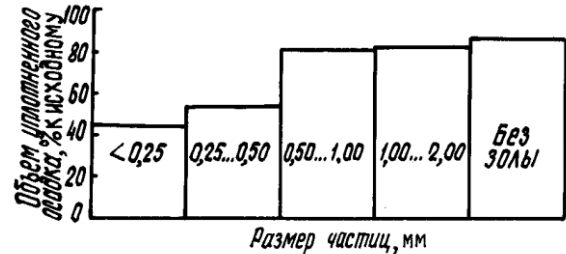
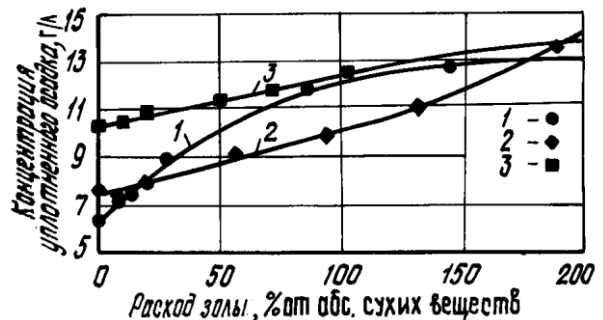


Рис. 2. Зависимость концентрации УО (без учета сухих веществ золы) от расхода золы при концентрации исходного АИ (продолжительность отстаивания 90 мин): 1 – 3,5; 2 – 5,3; 3 – 9,7 г/л



8\*

\* Заручевных И.Ю. Совместная утилизация иловых осадков сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий и золы ТЭС для изоляции и рекультивации накопителей отходов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Архангельск, 1999. – 21 с.

На эффективность уплотнения АИ с золой существенно влияет ее дозировка. Как видно из рис. 2, это влияние проявляется во всем исследованном интервале дозировок.

Поскольку в реальном производстве введение значительных количеств золы ТЭС на стадии уплотнения может быть сопряжено с технологическими проблемами, была предпринята попытка усилить действие золы (с расходом до 50 %) за счет введения в смесь флокулянта. Так, при добавлении 0,05 %-го раствора флокулянта Праестол 650 ВС и расходе золы 30 ... 45 % за 0,5 ч достигается такая же степень концентрирования АИ, как и за 5,0 ч, но без добавок (рис. 3). Оптимальный расход флокулянта составляет около 0,5 кг/т абс. сухих веществ АИ. При этом значительно улучшается качество надосадочной жидкости, что видно из результатов анализа ее проб, отобранных после уплотнения АИ в течение 1 ч без добавок и с добавками (табл. 1). Подобный эффект был установлен при использовании флокулянта Праестол 611 ВС.

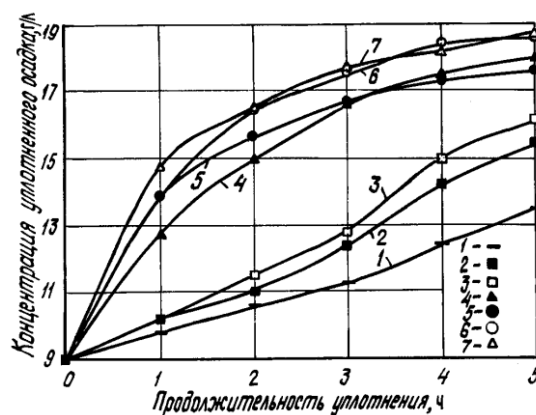


Рис. 3. Зависимость концентрации УО (без учета сухих веществ золы) от продолжительности уплотнения при расходе золы 0 (1); 30 (2, 4, 5); 45 % (3, 6, 7) и расходе флокулянта 0 (1 – 3); 0,5 (4, 6); 0,7 кг/т (5, 7)

Было изучено влияние золы и флокулянта на уплотнение осадков, образующихся при отстаивании производственных (ПО) и хозяйственных (ХФ) стоков.

Полученные результаты показали, что введение золы в осадки ПО и ХФ не оказывает никакого воздействия на уплотнение, но способствует некоторому

осветлению надосадочной жидкости. При добавлении только флокулянта (без золы) она имеет небольшую мутность, но при этом происходит

Таблица 1

Показатель	Значение показателя при введении золы (числитель) и флокулянта (знаменатель)								
	0 / 0	30 / 0	30 / 0,5	30 / 0,7	30 / 0,8	45 / 0	45 / 0,5	45 / 0,7	45 / 0,8
Прозрачность, см	7	7	9	17	20	10	12	14	20
Содержание взвешенных, мг/л	6	4	4	2	1	3	3	1	< 1

Примечание. Расход золы выражен в процентах к абс. сухим веществам АИ, флокулянта – в кг/т абс. сухих веществ АИ.

Таблица 2

Объект исследования	Концентрация уплотненного осадка (без учета золы), г/л, при концентрации исходной смеси, г/л			
	8,70	11,80	14,86	17,98
Смесь без добавок	20,4	19,7	17,5	20,3
Смесь с добавкой 30 % золы и 0,5 кг/т флокулянта	23,7	25,6	23,8	25,7
Смесь с добавкой 45 % золы и 0,5 кг/т флокулянта	24,0	25,8	26,7	27,7

слипание частиц и волокон осадка друг с другом, осадок как бы «набухает». При совместном введении золы и флокулянта концентрация уплотненного осадка несколько увеличивается за счет слипания частиц золы с волокнами, что способствует их оседанию.

Так как на предприятиях используют совместное уплотнение АИ вместе с другими осадками, нами были проведены исследования по уплотнению этих смесей с добавлением золы и флокулянта.

Смеси готовили из АИ, осадков ПО и ХФ в соотношении 50:30:20 по сухим веществам. В смеси на 1 т сухих веществ добавляли оптимальное количество золы и флокулянта (300 кг золы + 0,5 кг флокулянта; 450 кг золы + 0,5 кг флокулянта). Продолжительность уплотнения 2 ч. Условия и результаты опытов приведены в табл. 2, из которой видно, что во всех случаях введение золы и флокулянта заметно улучшает уплотнение смесей осадков. Дополнительным эффектом является улучшение качества надосадочной жидкости (табл. 3).

На следующем этапе изучали фильтруемость осадков, уплотненных с добавками и без добавок золы и флокулянта. Фильтрацию проводили на фарфоровой воронке, моделирующей работу ленточного вакуум-фильтра, диаметром 750 мм через фильтроткань лавсан. Разрежение 0,4 ... 0,5 атм. Условия опытов и результаты представлены в табл. 4.

Анализ результатов показал, что введение золы в смесь осадков на стадии уплотнения позволяет получить осадок с концентрацией на 20 ... 30 % больше (без учета золы), чем без добавок. Кроме того, при обезвоживании осадков, уплотненных с золой, влажность получаемого кека на

Таблица 3

Объект исследования	Прозрачность (числитель) и содержание взвешенных веществ (знаменатель) в надосадочной жидкости при концентрации исходной смеси, г/л	
	14,86	17,98
Смесь без добавок	2 / 7	2 / 41
Смесь с добавкой 30 % золы и 0,5 кг/т флокулянта	3 / 5	3 / 2
Смесь с добавкой 45 % золы и 0,5 кг/т флокулянта	4 / 2	3 / 7

Примечание. Прозрачность приведена в см, содержание взвешенных – в мг/л.

Таблица 4

Номер серии	Исходная концентрация смеси, г/л	Расход			Концентрация сухих веществ в уплотненном осадке (без учета золы), г/л	Высота слоя кека, мм	Влажность кека, %	Удельная производительность фильтрации, кг/(м <sup>2</sup> · ч)	
		зола, % к сухим веществам	флокулянта, кг/т сухих веществ					без учета золы	с учетом золы
			Всего	В том числе до отстаивания					
1	8,7	0	2,5	0,0	20,4	4	79,2	15,8	–
		30	2,5	0,5	23,7	7	77,2	18,3	23,8
		45	2,5	0,5	24,0	7	75,7	18,8	27,3
2	8,7	0	3,0	0,0	20,4	4	79,4	18,4	–
		30	2,5	0,5	23,7	4	75,4	18,2	23,7
		45	2,5	0,5	24,0	4	72,5	27,6	40,0
3	11,8	0	3,0	0,0	19,7	5	82,1	19,5	19,5
		30	3,0	0,5	25,6	7	77,2	22,1	28,7
		45	3,0	0,5	25,8	8	75,4	26,5	38,5
4	18,0	0	2,0	0,0	20,3	5	82,6	15,6	–
		30	2,0	0,5	25,7	8	79,3	17,8	23,1
		45	2,0	0,5	27,7	7	77,2	21,8	31,5
5	14,9	0	3,0	0,0	17,5	3	79,6	29,0	29,0
		30	3,0	0,5	23,8	5	76,2	47,7	62,0

4 ... 7 относ. % ниже, чем при обезвоживании без добавок. При этом удельная производительность фильтрации (УПФ) увеличивается в 1,4 – 1,7 раза (без учета золы).

Так как на станциях биологической очистки наибольшее распространение получили барабанные вакуум-фильтры, дальнейшее изучение УПФ осадков, уплотненных с золой и без золы, проводили на погружной воронке, моделирующей работу барабанного вакуум-фильтра при разрежении 0,4 ... 0,5 атм. Из полученных результатов (табл. 5) видно, что увеличение дозы золы приводит к уменьшению влажности кека на 6 ... 11 относ. % с одновременным увеличением УПФ от 5 до 70 относ. %.

Кроме этого, было изучено влияние золы на фильтруемость осадков, уплотненных без добавок золы и флокулянта. Золу в этом случае вводили

Таблица 5

Исходная концентрация смеси, г/л	Продолжительность фильтроцикла, с		Расход			Концентрация сухих веществ в уплотненном осадке (без учета золы), г/л	Высота слоя кека, мм	Влажность кека, %	Удельная производительность фильтрации, кг/(м <sup>2</sup> · ч)	
			зола, % к сухим веществам	флокулянта, кг/т сухих веществ					без учета золы	с учетом золы
	Всего	В том числе на стадии отстаивания								
8,7	150	45	0	2,0	0,0	20,4	4,5	80,2	19,5	–
	150	45	30	2,0	0,5	23,7	5,0	76,2	18,6	24,2
	150	45	45	2,0	0,5	24,0	6,0	77,2	20,4	29,6
14,9	100	30	0	2,0	0,0	17,5	4,5	81,9	30,1	–
	100	30	30	2,0	0,5	23,8	6,5	79,5	38,0	49,4

18,0	100	30	45	2,0	0,5	26,7	7,5	77,4	43,1	62,5
	100	30	0	3,0	0,0	20,3	4,5	81,2	27,8	27,8
	100	30	30	3,0	0,5	25,7	6,5	78,7	36,7	47,7
	100	30	45	3,0	0,5	27,7	9,5	78,8	47,4	68,8

Таблица 6

Расход золы, % к абс. сухим веществам осадка	Высота слоя кека, мм	Влажность кека, %	Удельная производительность фильтрации, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	
			без учета золы	с учетом золы
Наливная воронка				
0	3,5	86,2	11,4	–
15	4,0	84,2	11,7	13,5
30	4,0	82,3	11,1	14,4
45	4,5	79,7	11,8	17,1
60	4,5	78,9	12,1	19,3
Погружная воронка				
0	5,0	82,2	9,8	–
15	5,0	80,5	11,0	12,6
30	5,5	79,2	10,1	13,2
45	6,0	76,8	10,3	15,0

Примечание. Здесь и далее, в табл. 7, 9, расход флокулянта составлял 3 кг/т сухих веществ.

непосредственно перед фильтрацией. Было проведено 2 серии опытов по фильтрованию на наливной и погружной воронках. Результаты опытов (табл. 6) показали, что, как и в предыдущих случаях, влияние золы положительно, но менее эффективно.

Аналогичные опыты по изучению влияния золы на фильтруемость осадков при введении ее как до стадии уплотнения, так и в уже уплотненные осадки, были проведены нами на лабораторном пресс-фильтре при давлении 0,955 атм. Для исследований использовали флокулянт марки Праестол 611 ВС. Результаты опытов, представленные в табл. 7, 8, показы-

Таблица 7

Расход зола, %	Расход флокулянта на стадии отстаива- ния, кг/т сухих веществ	Концентрация сухих веществ в осадке перед фильтрацией, г/л		Влажность осадка, %	Удельная производи- тельность фильтрации, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	
		без учета зола	всего		без учета зола	с учетом зола
0	0,0	19,8	19,8	86,5	61	–
30	0,5	25,7	33,3	82,5	142	185
45	0,5	25,8	37,4	76,0	184	267

Таблица 8

Расход золы, %	Влажность	Удельная производительность фильтрации,
----------------	-----------	---

к абс. сухим веществам осадка	осадка, %	кг/(м <sup>2</sup> · ч)	
		без учета золы	с учетом золы
0	85	100	–
10	81	110	121
20	79	122	146
30	77	121	157
40	78	129	180

Примечание. Исходный осадок содержал сухих веществ 48,5 г; расход флокулянта составлял 1,3 кг/т сухих веществ.

вают, что введение золы существенно увеличивает производительность фильтрации и снижает влажность обезвоженного осадка.

В случае введения золы в смесь ОСВ до стадии уплотнения (табл. 7) УПФ может возрасти в 2,5 – 3,0 раза при расходе золы 30 % к абс. сухим веществам осадка и в 3,0 – 4,5 раза при 45 %. При этом влажность обезвоженных осадков может быть снижена на 15 ... 19 относ. % в зависимости от количества золы.

При введении золы в смесь ОСВ после стадии уплотнения (табл. 8) показатель УПФ можно увеличить в 1,3 раза, а влажность уменьшить на 9 относ. %.

Установлено, что загрязненность фильтрата, получаемого при обезвоживании осадков с добавлением золы, меньше, чем без золы.

Отдельная серия посвящена опытам по фильтрованию только АИ (без ПО и ХФ), уплотненного с золой и без золы. Для исследований использовали флокулянт Праестол 611 ВС. Опыты, проведенные нами на лабораторном пресс-фильтре, показали (табл. 9), что введение золы в АИ оказывает положительное влияние на стадию не только уплотнения, но и мехобезвоживания, существенно увеличивая производительность фильтрации и снижая влажность обезвоженного осадка.

Зависимость удельной производительности фильтрации от количества добавляемой золы носит экстремальный характер. Наилучшие показатели достигнуты при введении 50 % золы к сухим веществам АИ.

Таблица 9

Расход зола, %	Расход флокулянта на стадии отстаива- ния, кг/т сухих веществ	Концентрация сухих веществ в осадке перед фильтрацией, г/л		Влажность осадка, %	Удельная производи- тельность фильтрации, кг/(м <sup>2</sup> · ч)	
		без учета зола	с учетом зола		без учета зола	с учетом зола
0	0,0	13,0	–	90	8	–
30	0,5	15,0	19,5	79	18	23
50	0,5	17,0	25,5	75	22	33
70	0,5	18,0	30,6	80	20	35
90	0,5	19,0	36,1	81	15	29

*Выводы*

1. Зола является эффективным средством для уплотнения осадков, содержащих активный ил.

2. Введение флокулянтов Праестол в количестве до 0,5 кг/т при уплотнении активного ила с золой существенно повышает эффективность процесса уплотнения (сокращается продолжительность уплотнения и увеличивается концентрация сухих веществ в осадке).

3. Зола не оказывает никакого действия на уплотнение отдельно взятых ХФ и ПО осадков.

4. При уплотнении как АИ, так и смесей осадков добавление золы и флокулянта улучшает качество надосадочной жидкости: в 1,5 – 3,0 раза увеличивается ее прозрачность, в 1,6 – 5,0 раз уменьшается содержание взвешенных.

5. Обезвоживание смесей осадков с золой позволяет уменьшить влажность кека на 4 ... 11 относ. %. При этом удельная производительность фильтрации увеличивается в 1,4 – 1,7 раза (без учета сухих веществ золы).

6. Для улучшения процесса фильтрации зола может быть введена в осадки как на стадии уплотнения, так и непосредственно перед фильтрацией.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 9.10.01

*O.A. Zhvakina, E.D. Gelfand*

**On Joint Treatment of Waste Waters Sludge of PPM with Ash from Heat-and-Power Station**

Introduction of ash from heat-and-power station to waste water sludge allows to intensify the processes of compaction and filtration.

---



УДК 676.1

*Т.А. Королева, Г.В. Комарова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова*

Королева Татьяна Алексеевна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства АГТУ. Имеет 10 печатных работ в области отбелки сульфатной целлюлозы.



Комарова Галина Владимировна родилась в 1947 г., окончила в 1970 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат химических наук, доцент кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 научных трудов в области производства беленой целлюлозы.



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 160 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Миловидова Любовь Анатольевна родилась в 1946 г., окончила в 1970 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 научных трудов в области производства беленых волокнистых полуфабрикатов.



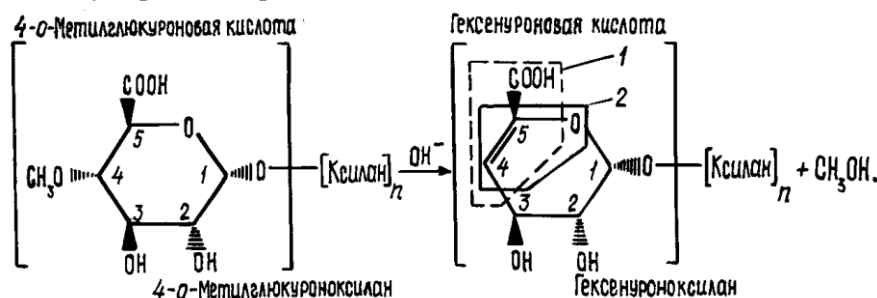
### **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ КИСЛЫХ ОБРАБОТОК ПЕРЕД ОТБЕЛКОЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЛИСТВЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Показано, что предварительные кислые обработки с использованием водного раствора диоксида серы и серной кислоты позволяют снизить содержание гексенуровых кислот и число Каппа лиственной сульфатной целлюлозы.

лиственная сульфатная целлюлоза, предварительная кислая обработка, водный раствор диоксида серы, серная кислота, число Каппа, гексенурановые кислоты, делигнификация, остаточный лигнин.

В начале 90-х годов было установлено, что группы гексенурановой кислоты (HexA), содержащиеся в технической целлюлозе, реагируют с перманганатом калия, повышая число Каппа лиственной сульфатной целлюлозы на 3–6 п.ед. и хвойной на 1–3 п.ед. Опытным путем установлено, что 10 ммоль HexA /кг целлюлозы соответствует 1,05 ед. числа Каппа [3].

Появление HexA в технической целлюлозе обусловлено преобразованием глюкуроноксирана в процессе сульфатной варки. Под воздействием гидроксильных ионов в остатке глюкуроновой кислоты глюкуроноксирана отрывается протон водорода в 5-м положении с последующим отщеплением 4-*o*-метоксила и образованием двойной связи [2]. Ниже схематично изображено преобразование 4-*o*-метилглюкуроноксирана в гексенураноксиран в процессе сульфатной варки:



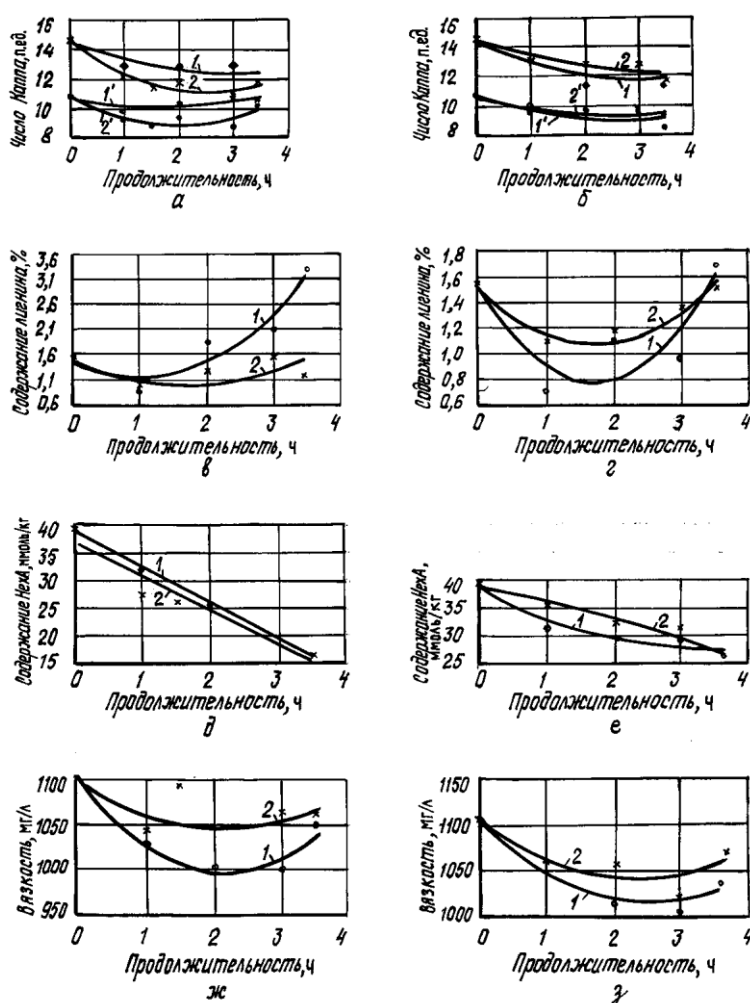
Структурный фрагмент HexA (1), содержащий карбоксильную группу у углеродного атома с двойной связью, является причиной увеличения расхода белящих реагентов на отбелку, особенно, лиственной целлюлозы с большим количеством пентозанов. Кроме того, наличие енольной эфирной связи в структуре HexA (2) создает затруднения при отбелке целлюлозы с использованием пероксида водорода, также увеличивая его расход [1].

Для удаления HexA фирма «Альстрем» разработала и внедрила в промышленном масштабе технологию селективного гидролиза (ANL – stage). Согласно этой технологии целлюлозу обрабатывают серной кислотой при pH 3–4, температуре 80 ... 110 °C и продолжительности 2 ... 4 ч с удалением до 80 % HexA. При этом число Каппа лиственной целлюлозы снижается на 5 п.ед [1]. Однако селективный гидролиз по технологии ANL-stage требует существенных затрат.

Ранее нами были проведены исследования по использованию водного раствора SO<sub>2</sub> для предварительной обработки лиственной сульфатной целлюлозы перед отбелкой. Было установлено, что такая обработка снижает число Каппа лиственной сульфатной целлюлозы на 1–2 п.ед. Предложенный на основании этих исследований способ предварительной обработки легко вписывается в существующую технологию отбелки.

Для действующей шестиступенчатой схемы отбелки ступень обработки  $\text{SO}_2$  может быть проведена в башне хлорирования. Кроме того,  $\text{SO}_2$  дешевле серной кислоты, на многих заводах существуют кислотные цеха, в которых есть возможность приготовления водного раствора  $\text{SO}_2$ .

Целью данной работы является сравнение эффективности обработок по предложенной нами схеме с использованием  $\text{SO}_2$  и по технологии AHL-stage. Для этого лиственную сульфатную целлюлозу обрабатывали



Влияние продолжительности обработок  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1, 1') и  $\text{SO}_2$  (2, 2') на показатели лиственной сульфатной целлюлозы при рН 2 – 3 (*а, в, д, ж*) и рН 4 – 5 (*б, г, е, з*): *а, б* – число Каппа; *в, г* – содержание лигнина; *д, е* – содержание НехА; *ж, з* – вязкость; 1', 2' – число Каппа с учетом НехА

водными растворами  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с изменением продолжительности воздействия от 1,0 до 3,5 ч при температуре 90 °С и различных значениях рН. В ходе экспериментов контролировали изменение числа Каппа, содержания лигнина, вязкости, содержания НехА.

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рисунке и в таблице.

Рисунок	Номер кривой	Уравнение кривой	$R^2$
<i>a</i>	1	$y = 0,2129 x^2 - 1,3539 x + 14,501$	0,8355
	2	$y = 0,5764 x^2 - 2,8791 x + 14,640$	0,9080
	1'	$y = 0,1889 x^2 - 0,6095 x + 10,626$	0,3918
	2'	$y = 0,4749 x^2 - 1,9055 x + 10,805$	0,7511
<i>б</i>	1	$y = 0,2841 x^2 - 1,6807 x + 14,478$	0,7586
	2	$y = 0,1454 x^2 - 1,1397 x + 14,542$	0,8753
	1'	$y = 0,2321 x^2 - 1,2368 x + 10,811$	0,6051
	2'	$y = 0,1892 x^2 - 0,9521 x + 10,676$	0,8230
<i>в</i>	1	$y = 0,3377 x^2 - 0,7098 x + 1,5117$	0,8990
	2	$y = 0,1693 x^2 - 0,5800 x + 1,4643$	0,3664
<i>г</i>	1	$y = 0,2583 x^2 - 0,8772 x + 1,5165$	0,7336
	2	$y = 0,1361 x^2 - 0,4762 x + 1,5343$	0,8975
<i>д</i>	1	$y = 7,4305 x + 41,158$	0,9765
	2	$y = 6,7720 x + 40,082$	0,7623
<i>e</i>	1	$y = 1,1701 x^2 - 7,4613 x + 39,434$	0,9549
	2	$y = 1,3696 x^2 + 1,3475 x + 38,790$	0,8605
<i>ж</i>	1	$y = 24,5454 x^2 - 104,2500 x + 1107,300$	0,9558
	2	$y = 12,1130 x^2 - 52,3260 x + 1103,200$	0,4146
<i>з</i>	1	$y = 15,9330 x^2 - 79,0570 x + 1110,200$	0,9356
	2	$y = 12,7990 x^2 - 58,9580 x + 1106,200$	0,6929

Из полученных данных следует, что характер влияния обработок с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{SO}_2$  на исследуемые показатели целлюлозы практически одинаков. В обоих случаях наблюдается снижение вязкости, числа Каппа и содержания лигнина с увеличением продолжительности обработки до 2,0 ч при различных значениях рН, дальнейшее повышение продолжительности до 3,5 ч приводит к некоторому росту этих показателей.

При изменении рН от 2–3 до 4–5 в обработке с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  отмечено большее снижение числа Каппа, что можно объяснить как процессом конденсации лигнина, так и лучшим растворением легкогидролизуемых углеводов (ЛГУ) при рН 2–3 (см. рисунок *в*). В случае обработки с  $\text{SO}_2$  при рН 2–3 наблюдается существенное снижение числа Каппа как по сравнению с обработкой серной кислотой в этих условиях, так и при повышении рН до 4–5. Эти данные также согласуются с изменением содержания остаточного лигнина в целлюлозе (см. рисунки *a*, *в*, и *б*, *г*).

Следует отметить, что увеличение продолжительности и рН обработки водным раствором  $\text{SO}_2$  от 2–3 до 4–5 не оказывает влияния на харак-

тер изменения содержания и количество остаточного лигнина, поскольку  $H_2SO_3$  является слабой кислотой.

Как видно из рисунков *д* и *е*, снижение рН с 4–5 до 2–3 приводит к усилению растворения НехА. При рН 2–3 зависимость содержания НехА от продолжительности обработки имеет прямолинейный характер с незначительной разницей между используемыми кислыми реагентами. При рН 4–5 в первые два часа серная кислота вызывает более сильное растворение НехА. Увеличение продолжительности обработки при действии серной кислоты практически не влияет на растворение НехА, в то время как при обработке с  $SO_2$  растворение продолжается примерно до 27 ммоль/кг.

Как уже отмечалось ранее, при обработке с  $H_2SO_4$  (рН 2–3) интенсивное растворение НехА не сопровождается соответствующим снижением числа Каппа из-за возможных процессов конденсации лигнина и гидролиза ЛГУ (см. рисунки *а*, *в*, *д*, кривая 1'). Повышение рН даже при более низком уровне растворения НехА приводит к большему снижению числа Каппа (см. рисунок *б*, кривые 1', 2').

Изменение рН в процессе обработки с  $SO_2$  практически не влияет на вязкость целлюлозы, при обработке с серной кислотой увеличение рН повышает вязкость, что косвенно свидетельствует о растворении ЛГУ.

Таким образом, обработку лиственной целлюлозы серной кислотой предпочтительно проводить при рН 4–5, а  $SO_2$  – при рН 2–3; температура и продолжительность обработки в обоих случаях одинаковы и составляют 90 °С и 2 ч.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хенрикссон К. Новая ступень в отбелке сульфатной целлюлозы (АНЛ – stage), обеспечивающая снижение числа Каппа и содержание ионов металлов в целлюлозе // Сб. докладов Междунар. конф. «Новейшие технологии в ЦБП». – США, 1997. – С.145–153.
2. Clayton P.W. // Svensk Papperstid. – 1963. – 66:115.
3. Selective Hydrolysis of Hexenuronic Acid Groups and its Application in ECF and TCF Bleaching of Kraft Pulps / Т. Vuorinen, P. Fagerstrom, J. Buchert et. al. // Journal of Pulp and Paper Sciens. – 1999. – Vol. 25, N. 5.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 29.06.01

*T.A. Koroleva, G.V. Komarova, V. I. Komarov, L.A. Milovidova*  
**Influence of Preliminary Acid Treatment before Bleaching on Indices of Hardwood Sulphate Pulp**

The preliminary acid treatment by using water solution of sulfur dioxide and sulfuric acid is shown to allow reducing the content of hexenuronic acids and Kappa number of hardwood sulphate pulp.

---



УДК 630\*36.004:658.588.8.001.8: 518.5

*А.В.Воронин*

Воронин Анатолий Викторович родился в 1959 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент, первый проректор, заведующий кафедрой прикладной математики и кибернетики ПетрГУ. Имеет более 70 печатных работ в области математического моделирования систем управления, автоматизации и управления в лесном комплексе, информационных систем и систем поддержки принятия решений.



### **ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ КОМПЛЕКСНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Предложены модели и методы повышения эффективности управления ремонтно-механическими производствами крупных лесопромышленных предприятий, подходы к решению задачи планирования ремонтных работ, структура программного комплекса управления ремонтным производством ЦБК.

лесопромышленное предприятие, ремонтно-механическое производство, автоматизированная система управления, математические модели.

За последние годы в лесопромышленном комплексе России произошли серьезные структурные изменения, связанные с интеграцией предприятий, созданием концернов и холдингов. В качестве примеров можно привести лесопромышленный холдинг «Илим Палп Энтерпрайз», группу компаний «Титан», ОАО «Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» и «Сеgezский ЦБК», группу на основе ЗАО «Северо-Западная лесопромышленная компания» и др.

В связи с тенденцией создания вертикально и горизонтально ориентированных структур на базе целлюлозно-бумажных, деревообрабатывающих и лесозаготовительных предприятий можно ожидать в достаточно близкой перспективе дальнейшее укрупнение лесопромышленных предприятий, повышение комплексности переработки ими древесного сырья и выпуска различных видов продукции, которые для одних производств будут являться конечной продукцией, для других – сырьем [2]. Характерно, что наиболее крупные холдинги обязательно включают один или несколько ЦБК.

В данной работе используется термин «комплексное лесопромышленное предприятие» [4], который пока не получил широкого распространения, тогда как все еще используется термин «комплексное лесозаготовительное предприятие». Ниже под комплексным лесопромышленным предприятием (КЛПП) будем понимать группу предприятий разных отраслей: ЦБП, деревообрабатывающих, лесозаготовительных, вырабатывающих комплекс разнообразных видов лесопродукции.

Понятно, что современное КЛПП представляет собой сложный организационно-экономический, технический и технологический комплекс, части (предпри-

ятия) которого могут быть удалены друг от друга на сотни и тысячи километров, а численность персонала варьирует в пределах тысяч и десятков тысяч человек. В этих условиях значительно возрастает необходимость согласованных действий и оперативного принятия решений, повышения эффективности планирования и управления на уровне комплекса и отдельных предприятий. Ввиду сложности решаемых задач, управление современным КЛПП немислимо без использования разнообразных методов анализа и моделирования, информационных технологий, разработки компьютерных систем поддержки принятия решений.

*Функции и структура управления  
ремонтно-механическими производствами КЛПП*

Хотя главное внимание в руководстве предприятием традиционно уделяется основному производству, оптимизация планирования и управления вспомогательными производствами также может дать значительный экономический и организационный эффекты. Важнейшими вспомогательными подразделениями КЛПП являются ремонтно-механические производства (РМП), заводы (РМЗ), мастерские (РММ). От их работы в условиях высокой степени износа оборудования, агрегатов, транспортных средств зависит устойчивый характер работы основных производств.

Особенности и непрерывный режим работы оборудования вынуждают тратить значительные средства на проведение ремонтных и профилактических работ. На крупных ЦБК затраты на ремонт составляют до 6 % стоимости основных фондов, а ремонт в РМП и цехах предприятия могут быть заняты до 30 % всех рабочих [3]. Повышение эффективности организации ремонтных работ с учетом изложенных обстоятельств является одной из важнейших предпосылок повышения эффективности работы КЛПП.

В связи с развитием деятельности КЛПП следует соответственно ожидать укрупнения и взаимосогласованной работы РМП этих предприятий и повышения их роли в обеспечении производственных процессов. ЦБК, выполняющие роль «ядра» КЛПП, должны взять на себя функции планирования ремонтных работ всех предприятий КЛПП, взаимодействия с машиностроительными и ремонтными предприятиями, создания «страхового» склада запчастей и оборудования для ЦБП, лесозаготовительных и лесообрабатывающих производств и оборудования. Наши многолетние исследования показали, что ремонтным производствам не везде уделяется достаточное внимание, что не может не сказаться на результатах работы КЛПП при растущем усложнении технических систем. Эффективность РМП крупных КЛПП может быть достигнута только при использовании в планировании и управлении современных методов экономико-математического моделирования и информационных технологий.

РМП крупных и средних КЛПП обычно включают в себя несколько десятков производственных подразделений и обычно требуют значительного количества рабочих. Например, только в РМП ОАО «Архангельский ЦБК» в 2001 г. работало около 400 человек, из них более 80 % персонала занято непосредственно на производстве.

РМП оказывают широкий спектр ремонтных услуг, так как в процессе работы постоянно возникает необходимость в ремонте, восстановлении и замене деталей, узлов и агрегатов машин и оборудования. Большинство таких материальных ресурсов изготавливается на производственных мощностях РМП, часть приобретается у внешних поставщиков или изготовителей. Номенклатура изготавливаемого и ремонтируемого оборудования крупных КЛПП насчитывает более 20 тыс. видов

изделий. Изменение и добавление новых видов номенклатуры происходит по мере появления в КЛПП новых видов машин и оборудования.

Каждое подразделение (цех) РМП, в свою очередь, разбивается на бригады и участки. За каждой бригадой и участком закреплен определенный вид деятельности, набор оборудования, инструментов и принадлежностей. Кроме того, на производстве существует несколько складов и площадок хранения различного назначения и вспомогательных служб. Вследствие этого РМП КЛПП имеют довольно сложную структуру и территориально размещаются в нескольких зданиях, иногда значительно удаленных друг от друга.

К числу основных проблем, возникающих в управлении работой РМП КЛПП и приводящих к увеличению экономических потерь, можно отнести:

1) проблемы оперативного учета и контроля за ресурсами РМП. Это связано с мелкосерийностью заказываемых партий, обширной номенклатурой деталей, заготовок, инструмента и сложностью слежения за приходом, расходом и наличием материалов и инструмента на складах. Указанное обстоятельство приводит к перепроизводству отдельных видов литейных материалов, перерасходу заготовок, материалов и инструмента, а также к несвоевременной подаче заявок на недостающие материалы и инструмент;

2) проблемы планирования работы РМП. Планирование работы РМП в целом и его подразделений должно проводиться с учетом сбалансированности месячного плана по различным видам ресурсов (станочный парк, персонал, обеспеченность инструментом, заготовками и другими материалами). В обычных условиях, без использования информационных технологий, экономико-математических моделей и методов, трудно добиться эффективного планирования.

Другой круг проблем связан с необходимостью выполнения срочных (внеплановых) заявок из-за частых поломок оборудования, возникновения аварийных ситуаций и т. п. Согласно статистике, в РМП ОАО «Архангельский ЦБК» доля таких заявок колеблется от 7 до 12 %, в зависимости от месяца. Отсутствие возможности оперативно скорректировать месячный план работы (с учетом появления срочных заявок) делает невозможным полную загрузку станков, что приводит к уменьшению объема выпускаемой продукции;

3) проблемы организации ремонтных работ. Сложность оперативного контроля за поэтапным выполнением заявок в различных подразделениях РМП приводит к неоправданной задержке выполнения отдельных заказов;

4) организация работы ИТР и управленческого персонала. Необходимость неоднократного составления маршрутно-технологических карт на отдельные, часто повторяемые виды изделий приводит к конфликтам из-за ошибок в нормировании и увеличивает непродуктивно затрачиваемое время технолога и нормировщика.

ИТР и работники управления РМП проводят много рутинных расчетов и перерасчетов при оформлении отчетной документации. У них практически не остается времени для анализа и перспективного планирования работы;

5) проблемы позаказного учета. Требования бухгалтерского учета приводят к необходимости калькуляции реальных затрат на выполнение отдельного заказа. При решении этой задачи в целях получения объективных затрат на отдельный заказ (в условиях, когда ряд статей затрат на изготовление данного заказа определен, ряд агрегирован с некоторыми другими заказами, а остальные можно вычленишь только в рамках общецеховых затрат) требуется детально определить места возникновения затрат и четкие правила их распределения.



Решение указанных проблем представляется весьма проблематичным без использования экономико-математических моделей и создания интегрированной системы управления РМП.

*Применение экономико-математических моделей  
в планировании работы РМП*

В данном разделе формулируются основные этапы планирования работы РМП, представлены экономико-математические модели и кратко описаны подходы к их решению в ОАО «Архангельский ЦБК» (более подробно – см. [1, 2]).

К числу основных этапов планирования работы РМП относятся:

- 1) подготовка к планированию;
- 2) решение задачи объемного планирования;
- 3) решение задачи объемно-календарного планирования;
- 4) диспетчеризация выполнения ремонтных работ.

**Подготовка к планированию.** Подготовка месячного плана работы РМП предполагает проведение по каждому подразделению следующих работ:

- сбор и обработка заявок от подразделений и внешних заказчиков;
- нормирование заказов на изготовление (ремонт) деталей и оборудования, включающее расчет требуемого количества, стоимости материалов и инструмента, затрат станочного времени, стоимости выполнения операций и т. п.;
- калькуляция плановой себестоимости выполнения работ;
- определение незавершенных работ прошлого месяца;
- формирование месячного «портфеля» заказов на выполнение ремонтных работ с учетом планируемого проведения ППР, текущего и капитального ремонта;
- анализ имеющихся ресурсов:
  - обеспеченность материалами и инструментом;
  - возможности станочного парка по взаимозаменяемым группам станков;
  - загрузка рабочего персонала и др.

**Задача объемного планирования.** Наиболее «узким местом» в технологии ремонтного производства является цех механической обработки (ЦМО), принимающий в месяц несколько сотен заявок разной срочности на изготовление мелких партий или отдельных деталей. При изготовлении или ремонте детали, как правило, требуется выполнить несколько операций на различных станках одного или нескольких цехов. ЦМО, как и прочие подразделения ремонтного производства, не всегда в состоянии выполнить все имеющиеся заявки, поэтому составляется месячный план с учетом срочности заявок и незавершенных работ прошедшего месяца.

Предложенный нами подход [1, 2] к решению задачи планирования работы ЦМО был реализован в несколько этапов путем постепенного усложнения рассматриваемых моделей:

- разработка экономико-математической модели и расчет месячного плана средствами линейного программирования без учета размеров станков и заготовок;
- расчет месячного плана с учетом размеров станков и заготовок, но без учета состояния склада материалов;
- расчет месячного плана работы ЦМО в полном объеме.

Уже на первом этапе выяснилось, что план, полученный на основе линейной модели, предпочтительнее традиционного подхода (основанного на квотах подразделений) по целевой функции и более точен по ресурсам станочного времени, но не обеспечивает соответствия размеров заготовок и назначенных для их обработки

станков. Размеры станка для выполнения одной и той же операции (чаще всего длина и ширина рабочего стола) в зависимости от типа различаются в десятки раз, и деталь невозможно обработать на станке, размеры стола которого меньше линейных размеров детали. Технологически оптимальной считается обработка детали на наименьшем пригодном по размерам станке, однако допустимо использование и больших станков.

Дальнейшее усовершенствование модели было связано с учетом одного размера (тогда множество типов станков упорядочено линейно) или нескольких размеров планируемых заготовок. В последнем случае существенно усложняется определение станка, следующего по величине после данного. С учетом размеров заготовок и, соответственно, типоразмеров станков одной операции (и тем более заказу) соответствует множество различных технологий изготовления. Ситуация усложняется условием технологии производства: операция со всеми деталями заявки должна выполняться на одном станке.

Следующий шаг – учет состояния складов инструментов и материалов. Особенность данной ситуации заключается в том, что материалы или инструменты могут быть закуплены и поступить в течение срока планирования, что не отображается в текущем состоянии запасов на складе. Кроме того, материалы могут быть частично взаимозаменяемы, причем принять решение о возможности или невозможности замены может лишь технолог. Действительно, при отсутствии металла круглого сечения нужного диаметра его можно заменить другим с большим диаметром и выполнить дополнительную операцию приведения к нужному диаметру, деталь больших размеров можно изготовить по частям. Запасы инструмента учитываются аналогично.

В качестве критериев оптимизации рассматривались следующие варианты используемой целевой функции:

- минимизация взвешенного суммарного времени простоя оборудования;
- максимизация приоритетов (в зависимости от срочности выполнения) заказов;

- максимизация прибыли ЦМО.

Построенная модель [2] соответствует задаче целочисленного линейного программирования большой размерности (сотни тысяч переменных и тысячи ограничений) с четко выраженной блочной структурой матрицы ограничений. Относительно «редкая» заполненность матрицы ограничений и ее блочная структура позволяют успешно использовать при ее решении декомпозиционные схемы. Высокая размерность является благоприятным фактором для замены решения задачи ЦЛП задачей ЛП с последующим округлением компонент решения до ближайшего целого.

Задача планирования работы литейного цеха и других подразделений РМП отличается от планирования ЦМО лишь меньшей размерностью оптимизационной задачи и другой номенклатурой ресурсов.

Решение задачи объемно-календарного планирования. Составление объемного производственного плана позволяет более рационально распределить ресурсы подразделений, сконцентрировать усилия в наиболее важных направлениях работы, составить пакет заявок, наиболее плотно использующий ресурсы станочного времени, распределить работы между группами типоразмеров станков. Попутно решается не менее важная задача расчета объективно обусловленных оценок ресурсов: станочного парка, материала и инструмента. Однако этот план не дает ответа на конкретный вопрос: когда и в какой очередности не-

обходимо выполнять заявки, каковы ранние сроки завершения выполнения заказов производств и участка ремонта оборудования, каким образом добиться на данных заявках максимальной плотности загрузки оборудования производства. Ответ можно получить при составлении объемно-календарного плана работы ремонтно-механического производства.

Основные цели решения задачи формирования объемно-календарного плана ремонтного производства можно сформулировать как:

- определение очередности запуска и выполнения заказов;
- распределение работ между бригадами, участками, рабочими, назначение типоразмера и номера станка для выполнения каждой конкретной операции;
- составление расписания работы оборудования, уточненный расчет плановой загрузки станочного парка и сроков возможных простоев;
- составление графиков пооперационной обработки деталей;
- график выполнения операций, необходимых для обработки деталей;
- календарные графики загрузки станков (групп станков, персонала, бригад);
- график завершения работ и сдачи деталей заказчику;
- календарные графики и итоговые реестры потребности в инструменте, заготовках и вспомогательных материалах;
- уточненный график приема – сдачи работ смежным производствам (литейное, гальваническое и пр.);

график резервов и возможных простоев оборудования и персонала (в том числе для планирования профилактических работ, отгулов и выходных персонала).

Перейдем к описанию математической модели, лежащей в основе составления объемно-календарного плана работы РМП.

Периодом планирования определим отрезок времени  $[0, T]$ .

Обозначим через  $M$  множество различных исполнителей операций РМП. Исполнителем удобно считать рабочего или управляемый им станок (некоторые рабочие обслуживают сразу несколько станков). Имеются операции, для которых невозможно указать рабочего или станок, в их числе нестандартные (разметка, сборка) и внешние (литейные, кузнечно-прессовые и пр.) операции. Чтобы не рассматривать особые случаи, введем фиктивного рабочего с номером 0, фиктивный станок неограниченной производительности и будем считать, что индексу  $i \in M$  соответствует пара станок – рабочий.

Тогда  $i$ -й исполнитель характеризуется:

- 1)  $q_i$  – квалификацией;
- 2)  $L_i^1$  и  $L_i^2$  – длиной и шириной (размерами стола) станка;
- 3)  $\tau_i \subset [0, T]$  – незанятым рабочим временем;
- 4)  $K_i$  – множеством выполняемых операций.

Пусть  $K$  – множество различных операций. Для конкретной операции  $k \in K$  определим  $M_k \subset M$  – множество возможных ее исполнителей. Установить связь между операциями и исполнителями можно также, указывая множества  $K_i \subset K$  операций исполнителей. Эти множества связаны соотношениями  $i \in M_k \Leftrightarrow k \in K_i$ .

Пусть  $N$  – множество нераспределенных заказов, каждый из которых обозначен индексом  $j \in N$  и характеризуется следующими параметрами:

- 1)  $c_j$  – срочностью;
- 2)  $W_j$  – числом деталей в партии;
- 3)  $l_j^1$  и  $l_j^2$  – размерами заготовки;

- 4)  $t_j, T_j, \Theta_j$  – ранним моментом начала, поздним моментом завершения и суммой продолжительностей операций заказа;  
 5)  $r_j$  – числом операций;  
 6)  $\langle t_s^j, q_s^j \rangle_{s=1}^{r_j}$  – описанием каждой операции: номером, требуемым временем работы и квалификацией исполнителя.

Основными неизвестными задачи  $x_s^j, X_s^j$  являются: сроки начала и завершения операции с номером  $s$  при обработке детали  $j$ , а также  $Y_s^j$  – исполнитель этой операции.

Чтобы увязать объекты задачи, параметры и неизвестные, введем ряд предположений, на которых основана модель.

1. В любой момент времени исполнитель выполняет только одну операцию.
2. Любую операцию выполняет только один исполнитель. Указанное условие исключает параллельное (для части заготовок) или последовательное (с делением на подоперации) выполнение одной операции двумя или большим количеством исполнителей.
3. Операции выполняются в строго указанном порядке, последующая операция не может быть начата ранее завершения предшествующей.
4. Любая операция завершается контролем ОТК, который выполняется в течение времени  $\tau_c$ , зависящего от срочности заказа  $c$ .
5. Операция может выполняться на станке, размеры стола которого не меньше размеров заготовки, при этом желательно не использовать слишком большие станки.
6. Квалификация исполнителя операции не должна быть ниже указанной, нежелательно существенно превышать этот показатель.

7. Операции с заготовкой  $j \in N$  нельзя начинать ранее момента  $t_j$ .  
 Первые три предположения определяют дисциплину обслуживания заказов, последующие – приоритеты выбора исполнителя.

Для построения математической модели введем обозначение меры пересечения  $V([t_1 : t_2] \cap \tau_i)$  отрезка  $[t_1 : t_2]$  ( $0 \leq t_1 < t_2 \leq T$ ) и подмножества  $\tau_i \subset [0, T]$ , состоящего из конечного множества отрезков. Составление объемно-календарного плана, к сожалению, требует многократного расчета этого значения, что является одной из самых трудоемких операций.

Теперь можно сформулировать ограничения математической модели.

Предположение 1 означает, что выполняется соотношение:

$$\text{если } Y_{s1}^{j1} = Y_{s2}^{j2}, \text{ то } V(\langle X_{s1}^{j1} \rangle \cap \langle X_{s2}^{j2} \rangle) = 0.$$

Предположение 2:

$$V(\langle X_s^j \rangle \cap \tau_i) \geq t_s^j, \quad j \in N, s \in S$$

автоматически означает:

$$X_s^j - x_s^j \geq t_s^j, \quad j \in N, s \in S.$$

Предположения 3 и 4 приводят к соотношению:

$$x_s^j - X_{s-1}^{j-1} \geq \tau_{j_s}, \quad j \in N, s > 1.$$

Предположения 5 и 6 – условия выбора  $Y_s^j$  означают, что

$$L_{Y_s^j}^1 \geq l_j^1, L_{Y_s^j}^2 \geq l_j^2, Q_{Y_s^j} \geq q_j, \quad j \in N, s \in S.$$

Последнее предположение:

$$x_j^j \geq t_j, \quad j \in N.$$

Среди возможных критериев оптимальности отметим два наиболее интересных с точки зрения задачи планирования работы РМП:

1) минимизация числа заказов, не выполненных в срок. Этому критерию соответствует функционал

$$\left| \left\{ j \mid x_j^j > T_j \right\} \right| \rightarrow \min .$$

Допустимы варианты этого критерия эффективности, такие как минимизация числа не выполненных вовремя срочных заказов или суммарного времени отклонения фактических сроков завершения работ от директивных и пр. Такие целевые функции в теории расписаний называют регулярными;

2) максимизация плотности загрузки оборудования. В этом случае целевая функция

$$\sum_{j \in N} \sum_{s \in r_j} (x_s^j - x_s^j) \rightarrow \max .$$

Задача является многоцелевой, при ее решении приходится учитывать разные критерии эффективности, а фактическая размерность задачи (сотни заявок и станков, тысячи операций) делает невозможным ее точное решение. Поэтому предлагается использовать довольно эффективный приближенный алгоритм [4], состоящий из трех этапов:

упорядочение множества заказов  $N$ , расчет приоритетов;

последовательный просмотр множества  $N$  и включение в план заказа в установленном на первом этапе порядке. Выбор очередного исполнителя осуществляется с использованием приоритетов;

локальная оптимизация полученного плана.

На первом этапе выполняется статистическое исследование потока заказа, определяются наиболее напряженные, а также предшествующие им операции. Решается транспортная задача, в которой мощности пунктов производства – ресурсы станочного времени, пунктов потребления – трудоемкости заказа, дуги связывают исполнителей с выполняемыми ими операциями. Таким образом устанавливается предварительное соответствие между операциями и исполнителями, а двойственные переменные используются в качестве «оценок напряженности» графика работы оборудования и станочных операций.

Далее диспетчер выбирает вектор  $\beta_p$  весовых коэффициентов критериев (1 : 7), и система выполняет расчет коэффициента заказа  $k_j$  по формуле

$$k_j = \sum_{p=1}^7 \beta_p z_p^j .$$

Численные значения  $z_p^j$ , в свою очередь, определяются признаками: срочностью заказа; количеством деталей; числом операций в составе заказа; соотношением числа выполненных и невыполненных операций для частично выполненного заказа; суммами напряженностей операций в маршрутной карте заказа; числом операций, предшествующих наиболее напряженной; отношением продолжительности выполнения всех операций к разности сроков позднего завершения и раннего начала работ.

Диспетчер может выбрать один из имеющихся векторов весовых коэффициентов  $\beta_p$  или создать новый, массив заказов упорядочивается по убыванию полученных значений  $k_j$ .

Второй этап выполняется в автоматическом или ручном режиме. В первом случае заказы последовательно включаются в план в установленном на первом этапе порядке. Во втором оператор сам выбирает заказы из списка, их очередность носит рекомендательный характер. Для каждой операции, включаемой в план заказа, автоматически подбирается наиболее подходящий по квалификации, типу, размерам станка и ресурсам свободного времени исполнитель. Если расчет выполняется в ручном режиме, оператор может согласиться с назначением исполнителей или изменить его по своему усмотрению. При этом система укажет список всех возможных исполнителей данной операции, ранние моменты ее начала, сроки и рекомендуемых исполнителей последующих операций. Ресурсы свободного времени пересчитываются по мере назначения исполнителей. Ручной режим может быть продолжен автоматическим, а полученный план отредактирован.

В настоящее время дорабатывается третий этап алгоритма – «локальная оптимизация», т. е. «уплотнение» полученного плана посредством незначительных сдвигов сроков работ или перестановок исполнителей.

Следует отметить исключительную гибкость процедуры выбора заказов и назначения исполнителей на основе механизма оценок и приоритетов, которая позволяет учесть при составлении плана множество дополнительных условий и предпочтений.

Рассматриваемый алгоритм можно использовать для планирования не только ремонтного производства предприятия ЦБП или КЛПП, но и любого мелкосерийного механического производства.

Диспетчеризация выполнения ремонтных работ. Следует отметить, что последовательная реализация решения задач планирования в РМП привела к необходимости (подробнее см. [4]) создания нового подразделения – планово-диспетчерской службы (ПДС) РМП.

Основная цель ПДС – расчет календарного плана работы ремонтного производства с пооперационным учетом выполнения заявок, контролем их перемещения по участкам и цехам РМП в соответствии с технологической картой, начиная с приема заявки и заканчивая передачей заказчику деталей со склада готовой продукции. Кроме этого, ПДС должна выполнять функции информационно-статистического анализа деятельности РМП – предоставление необходимой справочной информации, составление отчетов, ведение архивов и статистический анализ производственной информации.

ПДС взаимодействует практически со всеми службами и подразделениями РМП. Службу возглавляет главный диспетчер, который несет ответственность за распределение и учет выполнения производственных заданий. Попутно формируются заявки обеспечивающим подразделениям для подготовки необходимых инструментов, материалов и комплектующих изделий, сведения о загрузке оборудования, необходимые для составления графика планово-профилактических работ, и расписание работ отдела технического контроля.

Составляя календарный план работы на месяц, следует учесть, что его точное выполнение невозможно из-за целого ряда обстоятельств, среди которых: отклонения в графике работы персонала и оборудования, появление срочных (аварийных) заказов, брак, отсутствие необходимых заготовок, материалов, инструмента и т. п. Эти обстоятельства накапливаются постепенно, почти незаметны первые

3-4 дня и, как правило, корректируются мастером участка, но в дальнейшем могут разрушить график работ, несмотря на резерв времени, связанный с контролем операций ОТК.

В связи с изложенным принимается следующая схема планирования. Основной графика прохождения заказов является первоначально составленный план на месяц, а станочники получают план только на предстоящую неделю. По мере нарастания отклонений (один-два раза в неделю) производится процедура перепланирования на ближайшую неделю, в рамках которой выполняется: включение в план новых срочных заявок, поступивших в течение последних дней и пока не распределенных; оперативный учет задержек в выполнении операций и досрочно выполненных работ; корректировка календарного графика выполнения работ; корректировка сроков выполнения заказов; модификация плана работы ОТК на срок до конца недели.

#### *Структура и основные функции АСУ РМП*

Автоматизированная система управления РМП ОАО «Архангельский ЦБК» (АСУ РМП) разрабатывалась сотрудниками кафедры прикладной математики и кибернетики Петрозаводского государственного университета с 1988 г. Первая версия системы была разработана на языке Фортран и реализована на ЭВМ СМ-1210. В целях совершенствования в 1992–1995 гг. модули системы были переведены в среду Сіrrег. АСУ РМП в настоящее время включает следующие подсистемы.

1. Заказ: формирование месячных «портфелей заявок» на выполнение ремонтных работ; учет фактического выполнения заказов, формирование массива незавершенных работ; накопление и обработка архивных данных; печать отчетных документов; статистический анализ данных о выполнении работ за месяц, квартал, год, несколько лет.

2. Планирование ремонтных работ: учет станочного парка; расчет оптимального месячного плана работ ремонтного производства с учетом существующего парка станков и наличия материалов; печать отчетных документов; определение планируемой загрузки станков деталями и распределение заявок подразделений на изготовление деталей по станкам.

3. Объемно-календарное планирование РМП: определение очередности запуска и выполнения заказов; распределение работ между бригадами, участками, рабочими; назначение типоразмера и номера станка для выполнения конкретной операции; составление расписания работы оборудования, уточненный расчет плановой загрузки станочного парка, сроков возможных простоев; составление графиков пооперационной обработки деталей; графиков выполнения операций, необходимых для обработки деталей; календарных графиков загрузки станков (групп станков, персонала, бригад); графика завершения работ и сдачи деталей заказчику; уточненного графика приема – сдачи работ смежным производствам; графика резервов и возможных простоев оборудования и персонала (в т. ч. и для планирования профилактических работ, отгулов и выходных персонала).

4. Диспетчер: пооперационный ввод данных о фактическом выполнении заявок на изготовление деталей; определение местонахождения детали в технологическом маршруте; определение загрузки работников РМП на текущий момент.

5. Склады: моделей, заготовок, инструмента, готовой продукции, литья.

6. Калькуляция плановой и фактической себестоимости ремонтных работ и ряд вспомогательных модулей.

В настоящее время комплекс программ реализован в локальной сети РМП, насчитывающей 24 персональных компьютера. Создание локальной сети позволило отказаться от дублирования справочной информации и ускорить передачу данных между различными подразделениями РМП.

К достоинствам разработанного комплекса следует, на наш взгляд, отнести: 1) его замкнутость, так как автоматизированы все основные участки, службы и практически все делопроизводство, документооборот; 2) существенное сокращение сроков обработки заказов, уменьшение количества ошибок; налаживание детального учета ресурсов РМП; 3) формирование оптимальных месячных планов с учетом различных критериев оптимизации и наличия ресурсов; 4) повышение уровня организации управления; 5) освобождение инженерно-технических работников от множества рутинных операций; 6) появление возможностей анализа, планирования и прогнозирования результатов работы, поиска эффективных решений; 7) накопление архива информации о работе РМП.

По оценкам специалистов, в ОАО «Архангельский ЦБК» за счет использования автоматизированной системы управления производительность труда повысилась в среднем на 5 ... 7 %. Отдельные модули системы внедрены в ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.Ф. и др. Оптимизация в планировании и управлении предприятиями регионального лесопромышленного комплекса / А.Ф.Булатов, А.В.Воронин, В.А.Кузнецов и др. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 228 с.

2. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.

3. Соминский В.С. и др. Организация и оперативное управление предприятиями целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности / В.С. Соминский, С.И. Мугандин, А.П. Иванов, А.Н. Алексеева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 368 с.

4. Шегельман И.Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство: Словарь. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 304 с.

Петрозаводский государственный  
университет

Поступила 17.04.02

*A.V. Voronin*

### **Optimization and Management of Mechanical-repair Plants at Integrated Forest-industrial Enterprises**

Models and methods of increasing management efficiency of mechanical-repair plants at big forest-industrial enterprises are suggested; the approach to planning repair operations and structure of automated management system of repair plant at PPM are described.

---





## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.048

***Т. Бротте, Е. Варфоломеева, О. Мартинсен***

Туре Бротте – член Норвежской ассоциации оценщиков недвижимого имущества с 1979 г., президент FIABCI (Норвегия), руководитель международного проекта обучения студентов по специализации «Оценка недвижимости», профессор АГТУ.



Варфоломеева Елена Юрьевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесопильно-строгальных производств, младший научный сотрудник лаборатории защиты древесины Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины. Имеет 12 печатных работ по проблемам защиты лесопроductии от биопоражения с учетом экологических требований разных стран.



Одвар Мартинсен – специалист по оценке недвижимости, товарно-материальных запасов и основных фондов, размеров ущерба от стихийных бедствий и пожаров, восстановительной стоимости, член FIABCI (Норвегия), участник международного проекта обучения студентов по специализации «Оценка недвижимости», профессор АГТУ.

**РАЗЛИЧИЕ СКАНДИНАВСКИХ И РОССИЙСКИХ СТАНДАРТОВ ПО ЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Проанализированы требования зарубежных стандартов по обработке древесины защитными препаратами, опыт их совершенствования; выявлено существенное различие классификации пропитанной древесины по российским и скандинавским нормам, что значительно усложняет экспортные поставки дорогостоящих изделий.

пропитка древесины, препараты, стандарты, условия эксплуатации, классы защиты.

Скандинавские страны с 1976 г. имеют официальный стандарт по классификации древесины, пропитанной защитными препаратами с целью увеличения ее долговечности. С 1989 г. этот стандарт имеет следующие национальные обозначения: NS-INSTA 140 (Норвегия), SS 05 61 10 (Швеция), SFS 3974 (Финляндия),

DS 2122/INSTA 140 (Дания), IST-INSTA 140 (Исландия). Стандарт подразделяет пропитанную древесину сосны или другой легкопропитываемой породы на 4 класса (М, А, АВ, В). Классы характеризуют уровень защиты древесины от биологического разрушения. Другие требования к пропитываемым изделиям (качество (сортность) и влажность древесины, обработка ее перед пропиткой и т.п.) указывают отдельно.

Контроль за защитными препаратами, сертификацию пропиточных предприятий, проверку соответствия пропитанных изделий регламентированной классификации готовой продукции осуществляют национальные контролирующие органы или уполномоченные ими институты. Эти организации и их должностные лица не участвуют непосредственно или через третьих лиц в разработке, производстве, применении и торговле средствами защиты древесины и пропитанной продукцией. Запрет должностным лицам, ответственным за сертификацию средств химической защиты и пропитанных изделий из древесины, на получение экономической или какой-либо другой выгоды от разработки, производства, применения и сбыта сертифицируемой ими продукции позволяет исключить коррупцию, принятие необъективных решений и обеспечивает экологическую безопасность страны. Нарушения в этой сфере строго контролируются обществом и государством.

Антисептики относятся к биологически активным препаратам. В зависимости от химического состава они могут представлять опасность для живых организмов. В связи с обострением экологической ситуации во всем мире в последние годы ужесточаются требования к эксплуатационным характеристикам используемых средств химической защиты древесины (Варфоломеева Е.Ю. Опыт защиты лесоматериалов токсичными препаратами в России и Норвегии // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – Архангельск: АГТУ, 2001. – Вып. 7. – С. 28–35.). Пропиточные заводы Норвегии, являющиеся членами организации «Норвежский пропиточный контроль» (НПК), обязаны применять только те препараты, которые одобрены Скандинавским советом защиты древесины (ССЗД). При пропитке должен быть обеспечен нормированный уровень их расхода, который для заболони сосны приведен в табл. 1.

Таблица 1

Наименование препарата	Требуемый расход*, кг/м <sup>3</sup> , для класса** защиты				Срок действия
	М	А	АВ	В	
Celcure CCA тип С 50 %***	24	12	5	–	2001-12-31
Kemwood К33 С конц.***	24	12	5	–	2004-12-31
Kemwood К33 тип С***	24	12	5	–	2004-12-31
ОК-К33 тип С***	24	12	5	–	2004-12-31
Celcure CCA тип 60 %***	24	12	5	–	2002-12-31
Tanalith С 3310; Tanalith COL***	30	15	7	–	2004-12-31
Tanalith CCA оксид тип С***	24	12	5	–	2004-12-31
Celcure CCB	44	24	18	18	2002-12-31
Impralit KDS 4	–	–	12	–	2004-12-31
Sinesto В	–	–	18	18	2002-12-31
Tim-bor*****	–	–	1*****	1*****	2003-12-31
Wolmanit CX-S	–	–	4	4	2004-12-31

Продолжение табл. 1

Наименование препарата	Требуемый расход*, кг/м <sup>3</sup> , для класса** защиты				Срок действия
	М	А	АВ	В	
Wolmanit CX-SD	–	–	6	6	2003-12-31
Wolmanit CX-070	–	–	7	7	2001-12-31
Wolmanit CX-8	–	–	12	12	2004-12-31
Wolmanit CX-10	–	–	10	10	2004-12-31
Wolmanit CX-Sc	–	–	6	–	2003-12-31
Wolmanit CX-E	–	21	–	–	2005-12-31
Креозотовое масло ССО 440	400	135	90	–	2003-12-31
Креозотовое масло скандинавской спецификации	400	135	90	–	2002-12-31
Креозотовое масло WEI, тип А или В	400	135	90	–	2004-12-31
МТ – креозот	400	135	90	–	2002-12-31
VfT пропиточное масло WEI, тип С	–	135	70	–	2002-12-31

\* Расход зависит от рецептуры, определенной производителем.

\*\* Классы защиты М, А, АВ, В соответствуют классам опасности 5, 4, 3 (класс В предназначен для использования столярных изделий на улице) по стандарту EN 335.

\*\*\* Обработка для класса А.

\*\*\*\* Расход зависит от общего объема древесины.

\*\*\*\*\* До поставки потребителю пропитанная древесина должна пройти поверхностную грунтовку согласно рекомендациям производителя.

С введением европейских стандартов на древесину, обработанную защитными препаратами (EN 351, 1995 г.), и препараты (EN 335, 1992 г.) в Норвегии провели соответствующую корректировку ранее действовавшей по стандарту INSTA 140 классификации параметров защиты древесины. Разделение пропитанной древесины по классам риска в соответствии со стандартом EN 335 и учетом условий эксплуатации изделий показано в табл. 2.

В табл. 3 приведена взаимосвязь между классами защиты древесины по разным стандартам: ССЗД (М, А, АВ и В), EN 351-1 и EN 335.

При заказе пропитанной древесины следует указывать следующую информацию: породу, качество (сорт, класс прочности), размеры и характер обработки древесины до пропитки, класс ее защиты, влажность пропитанных изделий при доставке потребителю.

Например:

заказ 1 – сосновые детали сечением 50 × 100 мм, класс прочности Т 18, строганные, пропитанные водорастворимым препаратом ССА тип С, класс А по ССЗД.

заказ 2 – оконная рама, обработанная поверхностно масляным препаратом, класс В по ССЗД.

Таблица 2

Класс риска по EN 335	Условия эксплуатации древесины	Примеры изделий из древесины	Рекомендуемый класс защиты по ССЗД
Н 1	Сухая древесина, эксплуатируемая в помещениях	Мебель, отделочные панели для обшивки помещений	Пропитка не-обязательна
Н 2	Древесина, иногда подвергающаяся воздействию влаги, но не находящаяся в непосредственном контакте с землей и не выставленная полностью для непосредственного воздействия всех атмосферных осадков	Детали неотапливаемых сооружений, но под крышей	– // –
Н 3	Древесина, подверженная погодным воздействиям, ветру, конденсату, но не контактирующая с землей и не находящаяся в воде.	3.1. Окна и входные двери 3.2. Наружные поверхности деревянных сооружений, садовые элементы, расположенные над землей	В АВ
Н 4	Древесина, постоянно находящаяся в земле или пресной воде, или интенсивно подверженная погодным воздействиям и ветру; древесина в критических конструкциях, которые трудно проверять или заменять, а также когда правила охраны жизнедеятельности требуют полного отсутствия гниения	Шпалы, опоры и столбы электропередач, ограды, наружные лестницы, балконные покрытия, балки и т. д, балки в подземелье и детали насущих стен	А
Н 5	Древесина, эксплуатируемая в соленой воде с концентрацией соли более 0,6 %, древесина с особыми требованиями по прочности	Сваи пирсов	М

Производители, которые являются членами НПК, обладают эксклюзивным правом и обязанностью маркировать свою пропитанную продукцию из древесины по классам скандинавской качественной оценки, подтверждающей, что нормированные требования соблюдены. Система маркировки качества пропитанной древесины представлена в табл. 4.

Таблица 3

Класс проницаемости препаратов в пропитываемые изделия	Требования по EN 351-1	Взаимосвязь классов защиты М, А, АВ и В по ССЗД с классами риска по EN 335				
		H1	H2	H3	H4	H5
P1	Нет					
P2	Минимальная глубина проникновения препарата сбоку – 3 мм от поверхности, по оси вдоль волокон – 40 мм от торца					
P3	Минимальная глубина сбоку – 4 мм от поверхности					
P4	Минимальная глубина сбоку – 6 мм от поверхности					
P5	Минимальная глубина сбоку – 6 мм от поверхности, по оси вдоль волокон – 50 мм от торца			В		
P6	Минимальная глубина сбоку – 12 мм от поверхности					
P7	Для цилиндрических элементов минимальная глубина – 20 мм от поверхности					
P8	Пропитана вся поверхность			АВ	А	М
P9	Пропитана вся поверхность и не менее 6 мм на выставленной сердцевине					

Таблица 4

Классы защиты по ССЗД	Скандинавская маркировка	Равноценная маркировка с реквизитами производителя*
М	(NTR   M)	NS M XX
А	(NTR   A)	NS A XX
АВ	(NTR   AB)	NS AB XX
В	(NTR   B)	NS B XX

\* XX – фирменный номер производителя.

Маркировка качества, утвержденная ССЗД, зависит от классов защиты и может применяться для пропитанной древесины, произведенной на предприятиях, расположенных в странах Европейского Союза, в том числе в Скандинавии. Для пропиточных предприятий, расположенных на других территориях, эту маркировку использовать нельзя. Если после пропитки изделия будут подвергаться какой-либо механической обработке, например фрезерованию, пиленю, сверлению и т.п., то классификация пропитанной древесины теряется. Готовая продукция из пропитанной древесины при поставке потребителям должна удовлетворять национальным требованиям, например экологическим, санитарным, охраны труда. Необходимо, чтобы пропиточный препарат хорошо зафиксировался в древесине, летучие органические компоненты испарились; изделия, пропитанные маслянистыми препаратами, например креозотом, имели сухую поверхность.

В Российской Федерации требования к защитной обработке древесины регламентируются ГОСТ 20022.2–80\* «Защита древесины. Классификация», ГОСТ 20022.0–93 «Защита древесины. Параметры защищенности», ГОСТ 20022.6–93 «Защита древесины. Способы пропитки», ГОСТ 20022.5–93 «Защита древесины. Автоклавная пропитка маслянистыми защитными средствами», ГОСТ 20022.3–75\* «Защита древесины. Предпропиточная подготовка накальванием», ГОСТ 20022.1–90 «Защита древесины. Термины и определения», ГОСТ 20022.4–75 «Защита древесины. Панельный способ пропитки». В отличие от скандинавских стандартов в России изделия из древесины подразделяют на 18 классов условий службы согласно ГОСТ 20022.2–80\*. Такое несоответствие стандартов по консервированию древесины значительно усложняет российским предприятиям выгодный экспорт дорогостоящих пропитанных изделий в страны Скандинавии.

#### *Вывод*

В связи с введением европейских стандартов на пропитанную древесину и перспективой интенсификации развития международных торговых отношений российские стандарты по защитной обработке древесины необходимо привести в соответствие с общепринятыми. При реализации этой задачи целесообразно использовать опыт скандинавских стран, близких России по климатическим условиям и свойствам произрастающей древесины.

Архангельский государственный  
технический университет

*T. Braate, E. Varfolomeeva, O. Martinsen*

#### **Difference in Nordic and Russian Standards for Wood Treatment**

The requirements of foreign standards for wood treatment by preservatives are analyzed as well as the experience of their upgrading. The significant difference in impregnated timber classification according to Russian and Nordic standards is revealed that complicates export deliveries of expensive products.





## НЕКРОЛОГИ

**ВЛАДИМИР САМОЙЛОВИЧ СОМИНСКИЙ**

21 апреля 2002 г. на 87-м году ушел из жизни профессор, доктор экономических наук, заведующий кафедрой экономики С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров Владимир Самойлович Соминский.

Почти 70 лет он был связан с целлюлозно-бумажной промышленностью, 30 лет возглавлял кафедру. Им написаны 8 учебников, 27 монографий, всего более 450 печатных работ, из них 41 переведена на иностранные языки.

В течение 25 лет В.С. Соминский был членом диссертационного совета. Под его руководством подготовлены и защищены более 50 кандидатских и докторских диссертаций.

До последних дней этот замечательный человек сохранял ясность ума, логику, объективность в оценках и знаний, и людей. Обширные разносторонние знания, интеллигентность Владимира Самойловича всегда служили образцом для всех, кто работал рядом с ним.

Светлая память о последнем из могикан старшего поколения лесозащитной науки сохранится навсегда.

**Коллеги, ученики**

*Colleagues, followers*

**Vladimir S. Sominsky**

---

## ПАМЯТИ ЯЛЬМАРА ГЕОРГИЕВИЧА ДРОЧНЕВА

29 апреля 2002 г. после тяжелой и продолжительной болезни на 72-м году жизни скончался видный ученый-лесовод Яльмар Георгиевич Дрочнев.

Я.Г. Дрочнев родился 15 марта 1931 г. в г. Златоусте Челябинской области в семье учителя. В 1953 г. окончил с отличием Поволжский лесотехнический институт по специальности «Лесное хозяйство». Вся его дальнейшая творческая деятельность была посвящена подсочке леса. Он работал техническим контролером в Выксунском химлесхозе, а с декабря 1953 г. инженером подсочки леса в Борском химлесхозе. В 1955–1961 гг. был научным сотрудником и техническим руководителем Центральной зональной опытной станции подсочки и осмола ЦНИЛХИ.

В 1961 г. Яльмар Георгиевич был переведен в лабораторию подсочки ЦНИЛХИ на должность старшего научного сотрудника, где продолжил свою интенсивную научно-исследовательскую работу.

В 1969 г. Я.Г. Дрочнев защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка рациональной технологии подсочки сосны обыкновенной и изучение состояния подсачиваемых деревьев», а в 1971 г. был утвержден в ученом звании старшего научного сотрудника.

С 1973 г. по 1989 г. Я.Г. Дрочнев руководил головной научно-исследовательской лабораторией (отделением) подсочки леса сначала в составе ЦНИЛХИ, а с 1974 г. – КирНИИЛП. С именем Я.Г. Дрочнева связано становление и развитие Горьковского отделения подсочки леса. В 1994 г. Нижегородское отделение подсочки леса (НОПлес КирНИИЛП) было реорганизовано в самостоятельное головное подразделение – Федеральное государственное научно-исследовательское предприятие по подсочке леса и лесохимическому сырью «Янтарь» (ФГНИП «Янтарь»). В настоящее время это предприятие с уникальной базой данных переходит в состав ФГУП «ЦНИЛХИ».

За время работы заведующим лабораторией подсочки леса Яльмар Георгиевич проявил исключительную работоспособность, умение сочетать обязанности руководителя группы научных сотрудников с проведением многочисленных опытов под личным наблюдением и контролем в непрерывных лесных командировках.

Список научных трудов и изобретений ученого включает около 150 наименований. Его труды составили целую эпоху в развитии отечественной науки о подсочке леса. Яльмар Георгиевич занимался и популяризацией научных знаний. Его брошюры составляют весомую часть в «Библиотеке подсочника». Я.Г. Дрочнев был участником ВДНХ СССР, награжден серебряной и бронзовой медалями выставки. Являлся членом лесохимической секции научно-технического совета Минлесбумпрома СССР. Награжден медалями «За доблестный труд» и «За трудовую доблесть».

Яльмар Георгиевич достойно представлял отечественную науку о подсочке за рубежом, поддерживая тесные связи с коллегами из разных стран. В составе группы специалистов в декабре 1974 г. и январе 1975 г. был в Королевстве Непал, где с его участием разрабатывались предложения по организации канифольно-скипидарного производства в этой стране; в середине 1976 г. он проводил там опыты по подсочке роксбургской сосны.

Из-за ухудшения здоровья Яльмар Георгиевич был вынужден в 1989 г. уйти с должности заведующего отделением (лабораторией) подсочки леса и стандартизации КирНИИЛП на должность старшего научного сотрудника, но и здесь он всего себя отдавал развитию науки в области подсочки леса.

В последнее десятилетие жизни тяжелая болезнь прервала активную творческую деятельность талантливого ученого. Он мужественно переносил недуг, сохраняя до конца своих дней глубокий интерес к лесной науке. Этот период жизни крупного ученого-подсочника был омрачен катастрофическим падением объемов добычи живицы в России.

В связи с наметившимся экономическим подъемом в нашей стране на совещании руководителей предприятий лесохимической промышленности лесного комплекса Нижегородской области, состоявшемся 04.04.2002 г. во ФГУП «ЦНИЛХИ», принято решение в ходе проведения очередного тура лесоустройства составить проекты организации подсочки леса,



---

не допуская в рубки главного пользования сосновые древостои без предварительной подсочки. И не последнюю роль в научной организации развития добычи живицы должно сыграть творческое наследие выдающегося ученого Яльмара Георгиевича Дрочнева.

**В.Я. Бондарев, А.М. Невидомов, А.М. Киров,  
Н.Н. Довбня, С.А. Наумов, В.К. Хлюстов,  
В.А. Федоров, А.А. Неведов**

ФГУП «ЦНИЛХИ», ФГНИП «Янтарь»,  
ОАО «Борский опытно-промышленный химлесхоз»,  
департамент лесного комплекса  
Правительства Нижегородской области,  
департамент природных ресурсов  
по Приволжскому региону,  
Нижегородская государственная  
сельскохозяйственная академия,  
АО «Оргсинтез»,  
ФГУП «Поволжский леспроект»

*V. Ya. Bondarev, A.M. Nevidomov, A.M. Kirov, N.N. Dovbnya, S.A. Naumov,  
V.K. Khlyustov, V.A. Fedorov, A.A. Nefedov*

**In Memory of Yalmar G. Drochnev**

---