

ООО «ПРОМСТАЛЬКОМПЛЕКТ»

Реализует следующие виды
лесозаготовительной техники:

✓ Навесное оборудование и запчасти

к лесопогрузчикам ЛТ-138; ЛТ-65Б;

✓ Рельсовые трактора - ТТ-4М; ТДТ-55А;

ТЛТ-100-06; ТБ-1М-16;

✓ Лесоповалочные машины - ЛП-19;

✓ Сучкорезные машины на базе ТДТ-55А.

Тел./ф.: (095) 138-0870

Тел.: (095) 138-3188

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

МАТЕРИАЛЫ ПО ФЦНТП

«ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ
НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ
ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ», ПОДПРОГРАММЕ
«КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ»

МАТЕРИАЛЫ, ПОСВЯЩЕННЫЕ 95-ЛЕТИЮ
АКАДЕМИКА И.С. МЕЛЕХОВА

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

БИБЛИОТЕКА
АРХАНГЕЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

4

2000

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – акад. **О.М. Соколов**
Заместители главного редактора:
акад. **Е.С. Романов**, чл.-кор. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Чл.-кор. **Е.Д. Гельфанд**, акад. **И.И. Гусев**, акад. **Р.Е. Калитеевский**, акад. **А.Н. Кириллов**, акад. **В.И. Комаров**, проф. **Н.В. Лившиц**, акад. **В.И. Мелехов**, акад. **Е.Г. Мозолевская**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, акад. **А.Н. Обливин**, акад. **В.И. Онегин**, акад. **Г.С. Ощепков**, чл.-кор. **А.В. Питухин**, чл.-кор. **В.К. Попов**, акад. **С.М. Репях**, акад. **А.Р. Родин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Е.Д. Сабо**, акад. **Э.Н. Сабуров**, акад. **Е.Н. Самошкин**, акад. **В.И. Санев**, акад. **О. А. Терентьев**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, акад. **В.Я. Харитонов**, акад. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельман**

Ответственный секретарь **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 вузов и техникумов, студентов старших курсов лесотехнических вузов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4

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

Сдан в набор 04.09.2000. Подписан в печать 03.11.2000.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отг. 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) 44 13 37,
факс: (818-2) 44 11 46, e-mail: sokolov@agtu.ru http:// www.agtu.ru

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

СОДЕРЖАНИЕ

**МАТЕРИАЛЫ ПО ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ «ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ
НАУКИ И ТЕХНИКИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ»,
ПОДПРОГРАММЕ «КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ»**

<i>Г.А. Чибисов, С.А. Москалева.</i> Качество древесины ельников, формирующихся после выборочных рубок	7
<i>В.Я. Харитонов, Н.С. Главатских.</i> Математическое моделирование формы поперечных профилей малых и средних равнинных рек	17
<i>В.И. Комаров, М.Ю. Кузнецова.</i> Влияние переменных факторов наполнения бумаги на ее вязкоупругие и прочностные свойства	23
<i>И.Н. Ковернинский, Кермаян Хоссейн, С.И. Третьяков, С.Ю. Бачурихин.</i> Проклейка бумаги с использованием модифицированной клей-пасты анионного типа	29
<i>И.Н. Ковернинский, Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов.</i> Исследование свойств макулатурной массы для производства писчей и печатной бумаги	32
<i>Г.П. Александрова, С.А. Медведева, Э.С. Ступина, В.А. Петренев, И.В. Сергеева, А.П. Синецын, О.Н. Окунев.</i> Отбелка хвойной сульфатной целлюлозы с использованием ксиланазных ферментов	38
<i>Т.А. Королева, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова, Г.В. Комарова, Я.В. Казаков.</i> Влияние отбелки пероксидом водорода на физико-механические свойства лиственной сульфатной целлюлозы	46
<i>А.М. Кражжев, Ф.В. Шнаков, Л.К. Звездина, О.Л. Зарудская, А.И. Глазунов, А.В. Авакумова.</i> Исследования и технические решения в области сульфитной целлюлозы для бумаги	52
<i>Ю.А. Тихонов, О.А. Терентьев, В.С. Куров, А.Н. Кириллов, А.А. Гаузе, А.Г. Андреев, Ю.Г. Якимов, С.А. Рыбаков.</i> Новая конструкция ротора сортировок с гидродинамическими лопастями	66
<i>О.Ф. Горбунова, С.А. Вербицкая, К.Г. Боголицын.</i> Влияние концентрации кислоты на поведение лигнина в условиях азотнокислотно-щелочных варок древесины в этанольно-водной среде	70
<i>И.В. Вольф, А.Н. Николаев, Е.В. Руген, И.В. Нилова.</i> Переработка осадков на адсорбенты для адсорбционно-коагуляционно-биологической очистки сточных вод ЦБП	79
<i>Л.Н. Григорьев, Е.А. Есина, Т.И. Буренина.</i> Сравнительная оценка способов поглощения оксидов азота при анализе газовых выбросов	87
<i>Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Трофимов.</i> Испытания лесохимических продуктов в качестве модификаторов эпоксидных противокоррозионных композиций	95
<i>Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Трофимов.</i> Лесохимические эластификаторы для лаков из блочного полистирола	99
<i>Ф.Х. Хакимова, С.Г. Ермаков.</i> Вариант комплексного использования отходов окорки древесины	102
<i>Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Кислицын, Г.П. Григорюк.</i> Энергоэффективный способ получения карбюризатора из отходов древесного угля ...	107

<i>Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Кислицын, Г.П. Григорюк.</i> Брикетты из отходов древесного угля для газогенераторных печей	109
<i>Н.С. Горбова, К.Г. Боголицын, Д.С. Косяков.</i> Разработка потенциометрического метода для определения констант ионизации модельных соединений лигнина в ДМСО и его смесях с водой	111
<i>Э.Н. Сабуров, Ю.Л. Леухин, С.И. Остаев.</i> Сопротивление оребренного шипами кольцевого канала рекуперативного устройства с циклонным генератором закрутки потока	117

МАТЕРИАЛЫ, ПОСВЯЩЕННЫЕ 95-ЛЕТИЮ

АКАДЕМИКА И.С. МЕЛЕХОВА

<i>О.М. Соколов, Е.С. Романов.</i> Иван Степанович Мелехов	124
<i>И.И. Степаненко.</i> Влияние удобрений на анатомическое строение древесины сосны в разных типах леса	126
<i>В.И. Обыденников, Н.И. Кожухов.</i> Лесоводственно-географические аспекты типологии вырубков	135
<i>А.С. Тихонов.</i> Уточняющие признаки некоторых рубок леса	143

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

<i>Е.Н. Наквасина.</i> Новое учебное пособие	148
--	-----

ЮБИЛЕИ

<i>Н.А. Бабич, Г.И. Травникова, Н.П. Гаевский, В.В. Беляев, Е.Н. Наквасина, Р.В. Сунгуров.</i> Поздравляем юбиляра.....	150
<i>Друзья, коллеги, ученики.</i> Михаил Яковлевич Зарубин.....	151

CONTENTS

MATERIALS OF FEDERAL TARGET SCIENTIFIC-RESEARCH
PROGRAMME «RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PRIORITY AREAS
FOR CIVIL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT»,
SUBPROGRAMME «COMPLEX USE OF WOOD RAW MATERIAL»

<i>G.A. Chibisov, S.A. Moskaleva.</i> Wood Quality of Spruce Stands Formed after Selective Felling.....	7
<i>V.Ya. Kharitonov, N.S. Glavatskikh.</i> Mathematical Simulation of the Cross Section for Small and Medium Lowland Rivers	17
<i>V.I. Komarov, M.Yu. Kuznetsova.</i> Influence of Variable Factors of Paper Loading on its Viscoelastic and Strength Properties	23
<i>I.N. Koverninsky, Kermanyan Khossein, S.I. Tretyakov, S.Yu. Bachurikhin.</i> Paper Sizing with Modified Size-paste of Anionic Type.....	29
<i>I.N. Koverninsky, D.A. Dulkin, V.A. Spiridonov.</i> Analysis of Waste Paper Bulk for Writing and Printing Paper Production.....	32
<i>G.P. Alexandrova, S.A. Medvedeva, E.S. Stupina, V.A. Petrenev, I.V. Sergeeva, A.P. Sinitsyn, O.N. Okunev.</i> Bleaching of Softwood Sulphate Pulp by Using Xylanase Enzymes.....	38
<i>T.A. Koroleva, V.I. Komarov, A.A. Milovidova, G.V. Komarova, Ya.V. Kazakov.</i> Influence of Hydrogen Peroxide Bleaching on Physical-and-mechanical Properties of Hardwood Sulphate Pulp.....	46
<i>A.M. Kryazhev, F.V. Shpakov, L.K. Zvezdina, O.L. Zarudskaya, A.I. Glazunov, A.V. Avvakumova.</i> Research and Technical Solutions in Bleaching Sulphite Pulp for Paper.....	52
<i>Y.A. Tikhonov, O.A. Terenijev, V.S. Kurov, A.N. Kirillov, A.A. Gause, A.G. Andreev, Yu.G. Yakimov, S.A. Rybakov.</i> New Construction of Grading Rotor with Hydrodynamic Blades.....	66
<i>O.F. Gorbunova, S.A. Verbitskaya, K.G. Bogolitsyn.</i> Influence of Acid Strength on Lignin Behavior at Nitrate-Alkaline Cooking of Wood in Ethanol-aqueous Medium.....	70
<i>I.V. Volf, A.N. Nikolaev, E.V. Rugen, I.V. Nilova.</i> Sediments Processing into Adsorbents for Adsorption-coagulation-biological Treatment of Wastewater... ..	79
<i>L.N. Grigorjev, E.A. Esina, T.I. Burenina.</i> Comparative Study of Adsorption Methods for Nitric Oxide when Analyzing the Gas Emissions	87
<i>E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Trofimov.</i> Testing Forest Chemical Products as Modifiers of Epoxy-rubber Antirust Compositions.....	95
<i>E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Trofimov.</i> Wood-and-chemical Elasticators for Lacquers from Bulk Polystyrene.....	99
<i>F.Kh. Khakimova, S.G. Ermakov.</i> Variant of the Complex Use of the Wood Debarking Wastes.....	102
<i>E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Kislitsyn, G.P. Grigoryuk.</i> Energy-efficient Method of Producing Carbonizer out of Charcoal Wastes.....	107
<i>E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Kislitsyn, G.P. Grigoryuk.</i> Briquets of Charcoal Wastes for Gas-producer Furnaces.....	109

- N.S. Gorbova, K.G. Bogolitsyn, D.S. Kosyakov.* Development of the Potentiometric Method for Determining Ionization Constants of Model Lignin Compounds in Dimethyl Sulphoxide and its Mixtures with Water..... 111
- E.N. Saburov, Yu. L. Leukhin, S.I. Ostashev.* Resistance of Pin-finned Annular Channel of Recuperative Device with Cyclone Generator of Flow Swirling..... 117

*MATERIALS DEVOTED TO THE 95th
OF THE ACADEMICIAN I.S. MELEKHOV*

- O.M. Sokolov, E.S. Romanov.* Ivan S. Melekhov..... 124
- I.I. Stepanenko.* Influence of Fertilizers on the Anatomic Structure of the Pine Wood in the Different Forest Types..... 126
- V.I. Obydennikov, N. I. Kozhukhov.* Silvicultural-and-geographical Aspects of Deforestation Typology..... 135
- A.S. Tikhonov.* Qualifying Attributes of Some Wood Cutting..... 143

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- E.N. Nakvasina.* New Manual..... 148

JUBILEES

- N.A. Babich, G. I. Travnikova, N. P. Gaevsky, V. V. Belyaev, E. N. Nakvasina, R.V. Sungurov.* Congratulations with Jubilee..... 150
- Friends, colleagues, followers.* Mikhail Yakovlevich Zaroubine..... 151

МАТЕРИАЛЫ ПО ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ «ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ», ПОДПРОГРАММЕ «КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ»

УДК 630*812:630*221.4

Г.А. Чибисов, С.А. Москалева

Чибисов Генрих Андреевич родился в 1937 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник СевНИИЛХа, член-корреспондент Российской инженерной и Международной инженерной академий наук, академик РАЕН, заслуженный лесовод России. Имеет около 260 печатных работ в области рубок ухода, рубок главного пользования, экологии и биологии леса, продуктивности таежных экосистем.



Москалева Софья Александровна родилась в 1938 г., окончила в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, старший научный сотрудник СевНИИЛХа. Имеет более 30 печатных трудов в области анатомии древесины хвойных пород, формирующейся под влиянием различных лесохозяйственных мероприятий.



**КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ ЕЛЬНИКОВ,
ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПОСЛЕ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК**

Изучены анатомические и физико-механические свойства древесины ельников, сформировавшихся после двух приемов выборочной рубки (через 50 и 20 лет).

На Европейском Севере образовались значительные площади ельников, пройденных выборочными рубками различной интенсивности и давности. Качество в них древесины, ее физико-механические свойства остаются малоизученными.

В начале 30-х гг. И.С. Мелехов отмечал даже у старых сосен (200 ... 230 лет) в сосняках зеленомошных, сильно изреженных выборочны-

ми рубками, увеличение ширины годичных слоев и их поздней зоны. Это свидетельствует о возможности сохранения или даже улучшения физико-механических свойств древесины сосны после выборочной рубки [4].

Известно, что в результате изреживания насаждения изменяется сочетание факторов среды в общем их комплексе. Достаточно информативным показателем изменений является текущий прирост, важный качественный показатель которого – структура годичных слоев, их анатомическое сложение, прежде всего соотношение ранней и поздней древесины [1–3].

Наши исследования проводились в ельнике черничном свежем (средняя подзона тайги), пройденном 50 лет назад выборочной рубкой интенсивностью 50 % по запасу и около 20 % по числу стволов – первый прием рубки.

Как и все разновозрастные древостои, формирующиеся после выборочных рубок, это насаждение имеет неоднородное строение пологая, разные энергию роста и расположение деревьев, представленность тонкомера и подростка. По условиям произрастания древостой соответствует III и верхнему пределу IV класса бонитета. Значительная часть деревьев испытала угнетение в течение определенного периода. Состав древостоя от 8Е2Б до 10Е с единичным участием сосны, лиственницы, густота 750 ... 1200 шт. на 1 га, полнота 0,8 ... 1,0, запас 250 ... 370 м³, возраст 80 ... 290 лет. С учетом особенностей строения древостоя было отобрано 45 модельных деревьев, у которых на высоте 3 м от комля взято около 1600 образцов древесины для определения физико-механических свойств. Испытания проведены в соответствии с действующими ГОСТами.

В зависимости от характера роста все деревья разделены на две группы: первая – с относительно нормальным ростом; вторая – с периодом угнетения (к моменту рубки эти деревья имели незначительный размер или угнетенный рост).

Анализ погодичной динамики прироста древесины ели и среднего периодического по пятилетиям показывает, что выборочные рубки приводят к увеличению ширины годичных слоев. Отмечается (табл. 1) сходная реакция деревьев обеих групп на изменение условий среды. Увеличение прироста наблюдается в первый год после рубок и продолжается в течение 30 ... 35 лет у деревьев с относительно нормальным ростом; у испытавших угнетение – на протяжении всего послерубочного периода. Деревья ели второй группы отличаются наиболее интенсивным ростом в толщину: ширина годичного слоя в среднем за 50 лет увеличилась в 2,4 раза. Ежегодный прирост у всех деревьев обеих групп сильно варьирует. Это подтверждается величиной коэффициента вариаций. Наибольшие его значения отмечаются в первые 10 ... 15 лет (18 ... 25 %) и спустя 40 ... 45 лет после рубки (28 ... 58 %), когда текущий прирост начинает заметно снижаться. В качестве общей закономерности можно отметить, что амплитуда колебаний ширины годичного слоя у деревьев, испытавших период угнетения, значительно больше, чем без угнетения. Прирост древесины ели, начиная с IV пятилетия

Таблица 1

Период	Ширина годового слоя, мм	Число годовичных слоев в 1 см	Процент поздней древесины
Первая группа деревьев			
1918–1922 (до рубки)	0,43 ± 0,05	23,2	18,5 ± 4,2
I (1923 – 1927)	0,63 ± 0,03	15,8	22,4 ± 1,0
II (1928 – 1932)	0,56 ± 0,03	17,8	25,0 ± 1,5
III (1933 – 1937)	0,48 ± 0,03	20,8	21,4 ± 1,4
IV (1938 – 1942)	0,50 ± 0,01	20,0	20,8 ± 3,2
V (1943 – 1947)	0,51 ± 0,04	19,6	17,7 ± 2,5
VI (1948 – 1952)	0,51 ± 0,03	19,6	15,8 ± 1,3
VII (1953 – 1957)	0,51 ± 0,03	19,6	15,5 ± 1,7
VIII (1958 – 1962)	0,32 ± 0,08	31,2	19,4 ± 2,2
IX (1963 – 1967)	0,27 ± 0,06	37,0	20,0 ± 1,8
X (1968 – 1972)	0,26 ± 0,04	38,4	18,5 ± 3,0
Среднее за 50 лет после рубки	0,45 ± 0,02	24,0 ± 2,6	19,7 ± 0,7
Вторая группа деревьев			
1918–1922 (до рубки)	0,42 ± 0,04	23,8	24,4 ± 2,9
I (1923 – 1927)	1,22 ± 0,10	8,2	21,3 ± 1,8
II (1928 – 1932)	1,11 ± 0,11	9,0	20,0 ± 1,9
III (1933 – 1937)	1,05 ± 0,04	9,5	28,2 ± 3,4
IV (1938 – 1942)	1,00 ± 0,05	10,0	20,7 ± 1,1
V (1943 – 1947)	0,97 ± 0,08	10,3	24,4 ± 2,4
VI (1948 – 1952)	0,98 ± 0,06	10,2	23,9 ± 2,1
VII (1953 – 1957)	1,00 ± 0,06	10,0	19,6 ± 2,9
VIII (1958 – 1962)	1,01 ± 0,06	9,9	25,3 ± 3,1
IX (1963 – 1967)	0,93 ± 0,12	10,7	19,0 ± 2,2
X (1968 – 1972)	0,69 ± 0,02	14,5	20,2 ± 1,7
Среднее за 50 лет после рубки	1,00 ± 0,03	10,2 ± 0,5	22,2 ± 0,8

после рубки, стабилизируется на протяжении 20 ... 25 лет. С давностью рубки уменьшаются колебания варианта, что указывает, по нашему мнению, на равнослойность древесины, формирующейся под влиянием изреживания древостоя.

Следствием колебания ширины годовичных слоев является и разное их число в 1 см: 16 ... 38 у деревьев первой группы и 8 ... 14 – у деревьев второй группы.

Процент поздней древесины за послерубочный период значительно изменяется (16 ... 28 %) у деревьев ели обеих групп, коэффициент вариации наибольший у деревьев второй группы. Содержание поздней древесины у деревьев с относительно нормальным ростом возрастает на протяжении послерубочного периода; у имеющих период угнетения остается без измене-

ния. Средний процент поздней древесины в обеих группах различается незначительно (20 ... 22 %).

Проведение высокоинтенсивных выборочных рубок в еловых насаждениях способствует увеличению радиального прироста оставленных деревьев, особенно с наличием периода угнетения.

Влияние рубок сказывается на протяжении 30 ... 35 лет у деревьев первой группы и 50 лет – второй. Кульминация прироста в обеих группах наблюдается в первые 10 ... 15 лет после проведения рубок. В дальнейшем рост деревьев по диаметру на протяжении последних 20 ... 25 лет стабилизируется.

Изменение условий среды, вызванное изреживанием древостоев, способствует формированию равнослойной древесины ели. Выборочные рубки оказали положительное влияние на соотношение ранней и поздней древесины в годичном слое.

Объект исследования отличается значительной давностью выборочной рубки, что позволяет проследить динамику формирования трахеид древесины ели на различных возрастных этапах роста.

Толщина стенок ранних трахеид после рубок возрастает в среднем за послерубочный период на 9 ... 13, поздних на 29 ... 35 % по сравнению с дорубочной древесиной. Положительное влияние рубки проявляется через 15 лет после ее проведения. В дальнейшем, на протяжении 35 лет, толщина

Таблица 2

Показатели	Группа деревьев	
	первая	вторая
Плотность, кг/м ³	464	466
Предел прочности, МПа:		
при сжатии вдоль волокон	46,8	45,9
при скалывании вдоль волокон в направлении:		
радиальном	4,8	5,6
тангентальном	3,9	4,2
при статическом изгибе	44,9	45,8
Модуль упругости при статическом изгибе, ГПа	15,9	16,4
Истирание, мм:		
торцовое	0,17	0,17
радиальное	0,35	0,34
тангентальное	0,37	0,34
Удельное сопротивление выдергиванию, Н/мм:		
шуропов в направлении:		
торцовом	42	48
радиальном	79	84
тангентальном	79	101
гвоздей в направлении:		
торцовом	106	116
радиальном	213	216
тангентальном	230	237

стенок ранних трахеид обеих групп деревьев увеличивается на 11 ... 19, поздних на 22 ... 79 %. Толщина клеточной оболочки ранней древесины характеризуется высокой стабильностью (3,21 ... 5,40 мкм); поздней – высокой изменчивостью (4,70 ... 6,84 мкм), особенно у деревьев второй группы. Толщина стенок ранних трахеид у древесины, формирующейся после выборочной рубки, одинакова в обеих группах деревьев (3,15 мкм), поздних – значительно выше у деревьев с периодом угнетения. Показатель достоверности различия равен 4,8 ($t_{0,5} = 2,0$).

Результаты изучения физико-механических свойств древесины показали значительные колебания ее качества в пределах обеих групп деревьев. Средние показатели свойств древесины представлены в табл. 2.

Различия физико-механических свойств древесины ели первой и второй групп несущественны и статистически не доказываются. Исключение составляет предел прочности при скалывании вдоль волокон. Древесина ели с относительно нормальным ростом близка по качеству к ели, находящейся до рубки в состоянии угнетения.

Главный показатель качества древесины – ее плотность. Она определяет как многие физико-механические свойства древесины, так и высокую продуктивность древостоев [6].

Статистическая обработка данных позволила установить связь показателей прочности и деформативных свойств древесины с плотностью ρ (табл. 3), выражающуюся уравнениями общего вида

$$x = by + c; y = bx + c.$$

Наиболее тесной оказалась связь плотности с пределом прочности при сжатии вдоль волокон, статическом изгибе и модулем упругости при статическом изгибе; умеренная – с удельным сопротивлением выдергиванию гвоздей и шурупов; слабая отрицательная – с истиранием древесины.

Известно, что колебания показателей плотности зависят от анатомического строения древесины. Одним из наиболее обсуждаемых и спорных в лесоведении является вопрос о связи ширины годичного слоя (интенсивности роста) с плотностью древесины. Многочисленными исследованиями подтверждается существование определенной корреляции между этими показателями у хвойных пород [7]. Нашими исследованиями также выявлена связь между плотностью древесины ели, формирующейся после выборочной рубки, и шириной годичного слоя. Для деревьев первой группы коэффициент корреляции равен 0,47, второй 0,55.

С увеличением ширины годичного слоя плотность древесины снижается. Иногда, однако, наблюдается обратная картина. Это объясняется влиянием таких факторов, как процент поздней древесины и анатомическое строение (микроструктура) [5].

Процент поздней древесины традиционно рассматривается как важнейший фактор, влияющий на плотность древесины. Поскольку у поздней древесины плотность выше, чем у ранней, любое увеличение процента

Таблица 3

Механические свойства	Коэффициент корреляции r	Уравнение регрессии	
		$f = p + a$	$p = f + a$
Предел прочности:			
при сжатии вдоль волокон	<u>0,966</u>	<u>1,296p – 132,554</u>	<u>0,719 + 126,732</u>
	0,750	0,934p + 23,808	0,602 + 189,651
при статическом изгибе	<u>0,581</u>	<u>0,619p + 152,967</u>	<u>0,564 + 223,217</u>
	0,640	0,607p + 170,598	0,674 + 160,256
Модуль упругости при статическом изгибе	<u>0,638</u>	<u>0,275p + 28,160</u>	<u>1,482 + 233,070</u>
	0,690	0,508p – 70,001	0,937 + 308,770
Удельное сопротивление выдергиванию шурупов в направлении:			
торцовом	<u>0,590</u>	<u>0,014p – 2,153</u>	<u>25,007 + 349,196</u>
	0,418	0,014p – 1,258	12,576 + 388,387
радиальном	<u>0,533</u>	<u>0,014p + 1,709</u>	<u>20,766 + 288,854</u>
	0,792	0,024p – 2,647	25,833 + 236,512
тангентальном	<u>0,434</u>	<u>0,012p + 2,443</u>	<u>15,682 + 329,491</u>
	0,493	0,025p – 2,298	9,667 + 364,100
Истирание в направлении:			
торцовом	<u>-0,365</u>	<u>-0,00032p + 0,313</u>	<u>-406,963 + 520,060</u>
	-0,115	-0,00010p + 0,189	-130,323 + 468,196
радиальном	<u>-0,485</u>	<u>-0,00067p + 0,654</u>	<u>-350,094 + 570,893</u>
	-0,251	-0,00030p + 0,477	-204,075 + 521,075
тангентальном	<u>-0,045</u>	<u>-0,00004p + 0,389</u>	<u>-42,841 + 468,864</u>
	-0,135	-0,00024p + 0,443	-73,794 + 478,939

Примечание. В числителе данные для первой группы деревьев; в знаменателе – для второй.

поздней древесины приводит к повышению плотности. Связь плотности с процентом поздней древесины отражает уравнение вида: $y = a + bx$, коэффициент корреляции этих показателей равен 0,60. Тесная связь наблюдается между плотностью древесины и толщиной стенок поздних трахеид ($r = 0,70 \dots 0,92$).

В тесной связи с плотностью древесины ели находятся два главных фактора, действующих совместно: размерные характеристики отдельных анатомических элементов и структура годичного слоя. Именно эти факторы объясняют изменение плотности древесины.

Заключая, можно сделать выводы о качестве древесины, формирующейся после первого приема рубок. Высокоинтенсивные выборочные рубки оказывают положительное влияние на рост оставшегося древостоя. Качество формирующейся древесины ели как с периодом угнетения, так и без него приблизительно одинаковое. Установленные зависимости между шириной годичных слоев и числом их в 1 см, содержанием поздней древесины и плотностью, плотностью и механическими свойствами древесины позволяют, по нашему мнению, приблизиться к практически простому определению качества древесины по одному-двум показателям.

Второй прием выборочной рубки (60 ... 70 % по запасу, 80 ... 40 % по числу стволов) в исследуемом насаждении проведен в 1972 г. Состав древостоя на опытном участке от 9Е1Лц до 10Е с единичным участием сосны и березы. Число деревьев 500 ... 600 шт. на 1 га, полнота 0,4 ... 0,5, запас 100 ... 110 м³, возраст 110 ... 130 лет.

Для изучения анатомической структуры древесины ели отобрано 48 деревьев трех групп роста: лучшие, вспомогательные и отстающие в росте (или крупная, средняя и мелкая категории деревьев). Для разбивки на категории использовали лимиты распределения деревьев по диаметру.

Исследование макро- и микроструктуры древесины произведено методом микроскопического анализа образцов древесины в виде кернов.

Результаты анализа динамики прироста древесины ели, формирующейся после второго приема рубки, также показывают значительное увеличение ширины годичных слоев. При этом наблюдается сходная реакция деревьев различных категорий на изменение условий среды. У крупных деревьев ширина годичных слоев на опытном участке увеличивается в 1,7–2,3, средних в 1,3–3,5, мелких в 2,3–5,2 раза по сравнению с контролем (табл. 4).

Увеличение прироста ели отмечается уже в первый год после изреживания и продолжается на протяжении всего послерубочного периода. В среднем за это время прирост по диаметру увеличился в 2,3 раза по сравнению с контролем, особенно у мелких и средних деревьев.

Фактический ежегодный прирост у деревьев всех трех категорий сильно варьирует. Значения коэффициента вариации превышают 10 %, достигая иногда 90 %.

Анализ среднепериодического прироста по пятилетиям показывает значительное его возрастание в первые десять лет после рубки у деревьев крупной категории (в 2,0–2,3 раза по сравнению с контролем); средней и мелкой категорий – в третьем и четвертом пятилетиях после рубки (в 2,8–5,2 раза). За двадцатилетний послерубочный период ширина годичного слоя у деревьев крупной категории увеличилась в 1,9, средней в 2,4 и мелкой в 3,9 раза по сравнению с контролем.

Как показывают результаты исследования камбиальной деятельности, в изреженных рубкой еловых насаждениях создаются условия, благоприятствующие не только удлинению периода активности камбия (на 20 дн.), но и усилению интенсивности его работы.

Радиальный прирост увеличивается за счет числа рядов как ранних, так и поздних трахеид (в 1,5–2,5 раза по сравнению с контролем).

В древостоях, пройденных рубкой, разница в ширине годичных слоев по группам деревьев с увеличением давности рубки сокращается, чего не наблюдается в контроле. Например, на опытном участке разница прироста через 15 ... 20 лет после рубки у максимальных и средних деревьев составляет 0,20 мм, на контроле за этот же промежуток времени 0,40 мм. Это свидетельствует о том, что по мере увеличения срока давности рубки выравнивается рост оставшихся деревьев, а в контрольном древостое с возрастом усиливается дифференциация.

Таблица 4

Период	Ширина годичного слоя, мм		Процент поздней древесины	
	Контроль	Опытный участок	Контроль	Опытный участок
Крупные деревья				
1970 – 1972 (до рубки)	0,56 ± 0,15	1,00 ± 0,16	24,9 ± 5,5	23,1 ± 1,4
I (1973 – 1977)	0,51 ± 0,10	1,15 ± 0,21	23,0 ± 2,4	28,2 ± 2,5
II (1978 – 1982)	0,66 ± 0,10	1,31 ± 0,15	28,9 ± 3,1	29,1 ± 3,7
III (1983 – 1987)	0,87 ± 0,20	1,44 ± 0,23	23,8 ± 1,6	29,2 ± 2,6
IV (1988 – 1992)	0,71 ± 0,28	1,29 ± 0,12	23,3 ± 3,2	24,6 ± 2,4
Среднее за 20 лет после рубки	0,69 ± 0,07	1,30 ± 0,09	23,5 ± 1,1	27,8 ± 1,4
Средние деревья				
1970 – 1972 (до рубки)	0,52 ± 0,06	0,40 ± 0,07	27,4 ± 1,7	28,3 ± 1,3
I (1973 – 1977)	0,36 ± 0,08	0,48 ± 0,08	28,7 ± 1,6	27,3 ± 1,6
II (1978 – 1982)	0,39 ± 0,06	0,74 ± 0,23	27,4 ± 1,2	23,1 ± 1,6
III (1983 – 1987)	0,46 ± 0,16	1,28 ± 0,36	26,7 ± 1,9	25,3 ± 3,2
IV (1988 – 1992)	0,31 ± 0,08	1,09 ± 0,22	27,8 ± 0,9	26,2 ± 2,4
Среднее за 20 лет после рубки	0,38 ± 0,05	0,90 ± 0,13	27,5 ± 0,7	25,5 ± 1,1
Мелкие деревья				
1970 – 1972 (до рубки)	0,17 ± 0,04	0,21 ± 0,07	32,1 ± 0,2	26,3 ± 2,9
I (1973 – 1977)	0,20 ± 0,05	0,47 ± 0,17	29,0 ± 1,7	25,9 ± 1,0
II (1978 – 1982)	0,18 ± 0,01	0,66 ± 0,19	29,2 ± 0,3	27,5 ± 2,4
III (1983 – 1987)	0,16 ± 0,01	0,83 ± 0,22	30,0 ± 1,7	26,2 ± 1,2
IV (1988 – 1992)	0,16 ± 0,01	0,71 ± 0,18	31,9 ± 3,6	26,2 ± 2,1
Среднее за 20 лет после рубки	0,17 ± 0,01	0,67 ± 0,09	30,0 ± 0,9	26,5 ± 0,9
Среднее арифметическое для трех категорий				
1970 – 1972 (до рубки)	0,48 ± 0,08	0,54 ± 0,08	27,1 ± 2,4	26,1 ± 1,1
I (1973 – 1977)	0,36 ± 0,06	0,70 ± 0,11	26,1 ± 1,4	27,2 ± 1,1
II (1978 – 1982)	0,41 ± 0,07	0,90 ± 0,12	26,6 ± 1,1	26,8 ± 1,6
III (1983 – 1987)	0,50 ± 0,13	1,18 ± 0,15	26,0 ± 1,2	26,9 ± 1,3
IV (1988 – 1992)	0,39 ± 0,10	1,04 ± 0,14	26,2 ± 1,7	26,7 ± 1,3
Среднее за 20 лет после рубки	0,41 ± 0,05	0,95 ± 0,01	26,2 ± 0,7	26,6 ± 0,7

Анализ показал, что процент поздней древесины за послерубочный период у деревьев ели всех категорий изменяется незначительно (табл. 4): у крупных возрастает по сравнению с контролем ($t_{0,5} = 1,54$), у средних и мелких уменьшается ($t_{0,5} = 2,41$; $t_{0,5} = 2,75$).

Средние арифметические значения процента поздней древесины показывают одинаковое ее содержание в годичном слое, за 20-летний период после рубки и в контроле (26,2 %).

Влияние рубки на микроструктуру древесины ели выражается в увеличении толщины стенок поздних трахеид у всех групп деревьев. Данные статистической обработки показывают высокий уровень значимости различий этого показателя у деревьев средней и мелкой категорий по сравнению с контролем ($t_{0,5} = 10$; $t_{0,5} = 14$), у деревьев крупной категории $t_{0,5} = 4,5$. Толщина стенок ранних трахеид на опытном участке находится на уровне контроля.

Таким образом, после второго приема высокоинтенсивной выборочной рубки в еловых насаждениях значительно увеличивается радиальный прирост деревьев, оставленных на дорастивание.

Наиболее интенсивно растут деревья мелкой и средней категорий. Влияние рубки на увеличение радиального прироста сказывается на протяжении всего послерубочного периода.

Кульминация прироста у деревьев ели всех групп отмечается в III пятилетии, т. е. через 15 лет после изреживания. С давностью рубки рост оставшихся деревьев выравнивается. Содержание поздней древесины в годичном слое изменяется незначительно по сравнению с контролем, толщина стенок поздних трахеид увеличивается существенно.

Из приведенных данных видно, что показатели анатомического строения древесины ели, формирующейся после первого и второго приемов рубки, в основном идентичны. Технические свойства древесины также близки.

В табл. 5 представлены показатели макроструктуры древесины ели обеих групп деревьев, сформировавшихся на протяжении 20 лет, т. е. после второго приема рубок, показывающие увеличение радиального прироста за этот период времени.

В среднем за 20-летний послерубочный период радиальный прирост увеличился у деревьев первой группы в 2,1, второй – в 3,1 раза.

Через 5 лет после изреживания древостоя (второй прием рубки) на протяжении 15 лет (II, III, IV пятилетия) формируется равнослойная древесина ели. Показатель различия по ширине годичных слоев у деревьев первой группы равен 1,08; 1,25; 0,45; второй – 0,61; 0,48; 0,58.

Результаты измерений толщины стенок трахеид древесины ели показывают, что после проведения второго приема рубки на протяжении 20 лет толщина клеточной оболочки ранней древесины у деревьев обеих групп одинакова и равна 2,2 мкм. У поздних трахеид толщина стенки изменяется от 4,72 в I пятилетии до 5,8 мкм в IV.

Толщина стенок поздних трахеид у деревьев второй группы выше, чем у первой ($t_{0,5} = 3,75$).

Сравнивая качество древесины ели, формирующейся после первого и второго приемов рубки, можно отметить следующее. Деревья обеих групп (с угнетением и без него) на изреживание древостоя реагируют увеличением

Таблица 5

Период	Ширина годовичного слоя, мм	Число годовичных слоев в 1 см	Процент поздней древесины
Первая группа деревьев			
1918 – 1922 (до рубки)	0,43 ± 0,05	23,2	18,5 ± 4,2
I (1973 – 1977)	0,48 ± 0,08	20,8	27,3 ± 1,6
II (1978 – 1982)	0,74 ± 0,23	13,5	23,1 ± 1,6
III (1983 – 1987)	1,28 ± 0,36	7,8	25,3 ± 3,2
IV (1988 – 1992)	1,09 ± 0,22	9,2	26,2 ± 2,4
Среднее за 20 лет после рубки	0,90 ± 0,13	11,1	25,5 ± 1,1
Вторая группа деревьев			
1918 – 1922(до рубки)	0,42 ± 0,04	23,8	24,4 ± 2,9
I (1973 – 1977)	1,15 ± 0,21	8,7	28,2 ± 2,5
II (1978 – 1982)	1,31 ± 0,15	7,6	29,2 ± 3,7
III (1983 – 1987)	1,44 ± 0,23	6,9	29,2 ± 2,6
IV (1988 – 1992)	1,29 ± 0,12	7,7	24,6 ± 2,4
Среднее за 20 лет после рубки	1,30 ± 0,09	7,7	27,8 ± 1,4

радиального прироста, особенно после второго приема рубки. Содержание поздней древесины в годовичном слое у деревьев первой группы возросло на 7 %, второй – осталось на уровне дорубочной. Можно предположить, что после второго приема рубки древесина ели по техническим свойствам будет близка к древесине, сформировавшейся после первого приема рубки.

В последнее время в комплексе рубок главного пользования все большее предпочтение (исходя из эколого-экономических позиций) отдается выборочным рубкам. Изучение свойств формирующейся при этом древесины имеет большое значение для регламентации лесоводственно-эксплуатационных нормативов рубок и сертификации лесопродукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелехов И. С. О качестве северной сосны. - Архангельск: Сев. изд-во, 1932. - 31 с.
2. Мелехов И.С. Древесина северной ели. - Л.: Гослестехиздат, 1934. - 39 с.
3. Мелехов И.С. Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств // Тр. Ин-та леса АН СССР. - М.; Л., 1949. - Т. 4. - С. 11-20.
4. Мелехов И.С. Выборочные рубки и качество древесины // Рубки и возобновление леса на Севере. - Архангельск: Архангельск. кн. изд-во, 1960. - С. 32-36.
5. Москалева В.Е. Изучение влияния анатомического строения сосны и лиственницы на физико-механические свойства // Информ. листок ЦНИИМОД. - 1939. - № 7. - С. 1-4.

6. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 159 с.

7. *Стрекаловский Н.И.* Физико-механические свойства древесины северной ели // Тр. Ин-та леса АН СССР. – М.; Л., 1949. – Т. 4. – С. 102–107.

СевНИИЛХ

Поступила 01.02.2000 г.

G.A. Chibisov, S.A. Moskaleva

Wood Quality of Spruce Stands Formed after Selective Felling

The anatomic and physical-and-mechanical characteristics of spruce wood have been studied for spruce stands formed after selective felling carried out twice (after 50 and 20 years).

УДК 630*378.33/.8:556.013/.014

В. Я. Харитонов, Н. С. Главатских

Харитонов Виктор Яковлевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 170 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.



Главатских Наталья Сергеевна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры водного транспорта леса и гидравлики АГТУ. Имеет 5 печатных работ по вопросам гидрологии, математического моделирования в гидрологии, водного транспорта леса.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РАВНИННЫХ РЕК

Изучены натурные поперечные профили малых и средних рек Северодвинского бассейна на плесах и перекатах. Подобраны аналитические зависимости, по которым можно построить теоретический поперечный профиль реки. Получены формулы, отображающие зависимость ширины реки от глубины.

После многолетнего безразличного отношения к транспортному использованию малых и средних рек производственная общественность приходит к пониманию того, что выход из экономического кризиса, увеличение объемов производства, в частности в лесном комплексе, а также социальное развитие отдаленных регионов со слабо развитой сетью сухопутных дорог невозможны без вовлечения в эксплуатацию водных путей, на которых ранее проводился молевой лесосплав. Так, в материалах научно-практической конференции «Научно-техническая политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области» [1] одним из перспективных направлений признано восстановление лесосплава с применением новых технологий.

Возможны разные виды транспорта леса по малым и средним рекам: лесосплав в сплоточных единицах без судовой тяги («вольницей») на реках, по которым нет судоходства; буксировка в плотках и кошелях; перевозка леса на судах.

В целях обеспечения безаварийности водного транспорта и минимального негативного воздействия его на природную среду все перечисленные виды нуждаются в тщательном гидрологическом обосновании как на стадии выбора реки, пригодной для транспортной эксплуатации, так и при разработке проекта организации по ней водного транспорта вообще и лесоматериалов в частности.

На кафедре водного транспорта леса и гидравлики АГТУ в плане выполнения ФЦНТП прорабатывается проект «Разработать технологию судоперевозок древесного сырья по малым и средним рекам». Одной из задач проекта является анализ формы поперечного сечения русел рек в целях их математического моделирования и последующего использования моделей для прогнозирования принципиальной возможности судоходства, а также того или иного вида водного транспорта леса по конкретной реке при ограниченном объеме гидрологических сведений по ней. Форма поперечного сечения русла и продолжительность стояния уровней заданной обеспеченности позволяют ориентировочно определить лесопропускную способность или возможный грузооборот реки.

В нашей работе [2] приведены результаты математического анализа поперечных профилей средних и малых рек бассейна Северной Двины на перекатах. Ниже дается углубленный анализ профилей тех же перекатов в сопоставлении с профилями на плесовых участках.

* Поперечные профили на перекатах получены при полевых исследованиях кафедры, профили на плесах получены в Архангельском гидрометцентре, за предоставление которых авторы благодарят его руководство.

Таблица 1

Река	Створ	a_0	a_1	a_2
Пережат				
Пинега	Великая	49,98	-0,700	0,00297
	540,3 км	26,57	-0,204	0,00559
Уфтюга	Н. Выйский	15,44	-0,545	0,00111
	Иховоложа	22,66	-0,200	0,00074
	Куликово	33,79	-0,366	0,00133
Устья	Бернятино	20,34	-0,130	0,00039
	Бестужево	21,71	-0,172	0,00055
	Пушкино	15,97	-0,899	0,00265
Плес				
Пинега	Северный	86,06	-0,179	0,00120
Уфтюга	Ярухино	57,46	-0,151	0,00096
Устья	Бестужево	93,47	-0,257	0,00199
	Шангалы	67,09	-0,165	0,00100
Вага	Глуборецкая	118,46	-0,197	0,00290
	Филяевская	67,11	-0,173	0,00096
Н. Тойма	Метил	50,99	-0,202	0,00313
Ваеньга	Филимоновская	23,89	-0,247	0,00225

Поперечный профиль реки в своем очертании имеет кривую, близкую к параболе. На этом основании для нахождения математической модели поперечного профиля предложен полином второй степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (1)$$

Коэффициенты этого полинома приведены в табл. 1.

Профили, построенные по уравнению (1) (рис. 1), не описывают натуральный профиль с достаточным приближением, но его удобно использовать для отыскания оси симметрии профиля и переноса начала координат в точку, где $y = y_{\min}$ [2], т. е. координаты x_0 и y_0 :

$$x_0 = -\frac{1}{2} \frac{a_1}{a_2}; \quad (2)$$

$$y_0 = a_0 + a_1 \left(-\frac{1}{2} \frac{a_1}{a_2} \right) + a_2 \left(-\frac{1}{2} \frac{a_1}{a_2} \right)^2. \quad (3)$$

Увеличением степени полинома можно добиться практически полного совпадения теоретического профиля с натурным, но при этом усложняется практическое использование формул. Для дальнейшего анализа принят полином четвертой степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (4)$$

который обеспечивает достаточную точность построения поперечных профилей (рис. 1).

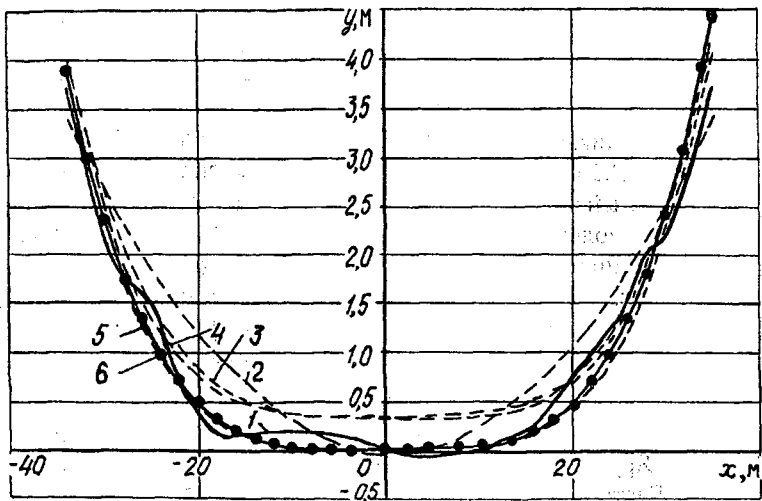


Рис. 1. Совмещенные профили на плесе в створе д. Глуборецкая (р. Вага): 1 – натура; 2 – построенные по формуле (1); 3 – по формуле (4); 4 – по формуле (6); 5 – по формуле (9); 6 – смоделированный

Анализ полинома (4) показывает несущественность влияния коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 на точность аппроксимации, и их можно исключить. Окончательно приняты уравнения:

для перекатов

$$y = a_4 x^4; \quad (5)$$

для плесов

$$y = a_0 + a_4 x^4 \quad (6)$$

с началом координат в найденной точке минимума функции (1) – условной низшей точке дна русла.

На рис. 1 представлен смоделированный по формуле (6) профиль плеса в створе д. Глуборецкая.

В табл. 2 приведены коэффициенты уравнений (5), (6) для перекатов и плесовых участков, а также корреляционные отношения R и значения среднееголетнего максимального расхода Q_{\max} .

Как и при анализе перекатов [2], за формообразующий принят среднееголетний максимальный расход в изучаемом створе.

Поиск корреляционной зависимости коэффициентов уравнения (6) показал, что наиболее тесная связь для плесов, как и для перекатов, наблюдается при использовании функции вида

$$a = b Q_{\max}^c, \quad (7)$$

Таблица 2

Река	Створ	Q_{\max} , м ³ /с	$a_4 \cdot 10^{-8}$	a_0	R
Пережат					
Пинега	Великая	371	238	-	0,92
	540,3 км	1070	7,74	-	0,80
Уфтыога	Н. Выйский	1080	0,56	-	0,75
	Иховоложа	467	15,3	-	0,95
	Куликово	474	33,7	-	0,94
Устья	Бернятино	495	9,78	-	0,83
	Бестужево	690	6,45	-	0,91
	Пушкино	712	1,60	-	0,93
Плес					
Пинега	Северный	1065	24,34	-0,11	0,94
Уфтыога	Ярухино	510	22,22	0,50	0,92
Устья	Бестужево	696	55,08	0,87	0,97
	Шангалы	965	15,68	0,75	0,95
Вага	Глуборецкая	179	255,4	0,35	0,99
	Филяевская	1147	12,31	0,83	0,99
Н. Тойма	Метил	243	245,6	0,63	0,92
Ваеньга	Филимоновская	284	78,64	0,79	0,95

Таблица 3

Коэффициент	b	c	R
Пережат			
a_4	2690	-3,73	0,80
Плес			
a_0	0,607	-0,008	0,01
a_4	0,009	-1,570	0,93

Аппроксимацией коэффициентов a из табл. 2 с помощью функции (7) получены постоянные b и c для пережатов и плесов (табл. 3).

Как видно из табл. 3, связь $a_4 = f(Q_{\max})$ весьма тесная, поскольку корреляционное отношение R близко к единице, а связь $a_0 = f(Q_{\max})$ практически отсутствует ($R \ll 1$). Поэтому приняты расчетные уравнения (5), (6) следующего вида:

для пережатов при $350 \leq Q_{\max} \leq 1100$ м³/с

$$y = 2690 Q_{\max}^{-3,73} x^4; \quad (8)$$

для плесов при $150 \leq Q_{\max} \leq 1150$ м³/с

$$y = \bar{a}_0 + 0,009 Q_{\max}^{-1,57} x^4, \quad (9)$$

где \bar{a}_0 – среднее арифметическое из значений коэффициентов a_0 (табл. 2),

$\bar{a}_0 = 0,67$ м (не учитывается значение a_0 п. Северный).

Для практических расчетов удобнее заменить $x = B/2$ и $y = H$, где B , H – соответственно ширина и глубина реки.

После преобразований рабочие формулы примут вид:
для перекатов

$$B = 0,278 Q_{\max}^{0,93} H^{0,25}; \quad (10)$$

для плесов

$$B = 6,49 Q_{\max}^{0,393} (H - 0,67)^{0,25}. \quad (11)$$

На рис. 1 приведены совмещенные профили натурный и условный, построенный по формуле (9). Он весьма близок к профилю, построенному по аналитической зависимости (6). Так, при глубине $H = 4$ м расчетная ширина реки 67,3 м, а фактическая 69,5 м, т. е. абсолютная ошибка равна 2,2 м, а относительная 3,17 %.

Для упрощения расчетов на рис. 2 приведены графики, из которых следует, что при небольших расходах (для малых рек) и одинаковом уровне ширина на перекатах меньше, чем на плесах. Поэтому перекаты являются лимитирующими участками при определении габаритов судового (лесосплавного) хода. При больших расходах (для средних рек) лимитирующими являются плесы.

Введение постоянной величины a_0 для плесов позволило приблизить теоретический профиль к натурному, но в некоторых случаях теоретический проходит ниже натурного, что может привести к завышению расчетной осадки судна или плота. Чтобы избежать этого, рекомендуется увеличить донный запас против нормативного на возможную ошибку ϵ .

Статистической обработкой значений a_0 (см. табл. 2) получено среднее арифметическое $a_0 = 0,67$ м, среднеквадратичное отклонение $\sigma = \pm 0,191$ м. С вероятностью 95 % постоянная добавка к донному запасу составит $\epsilon = 0,86$ м.

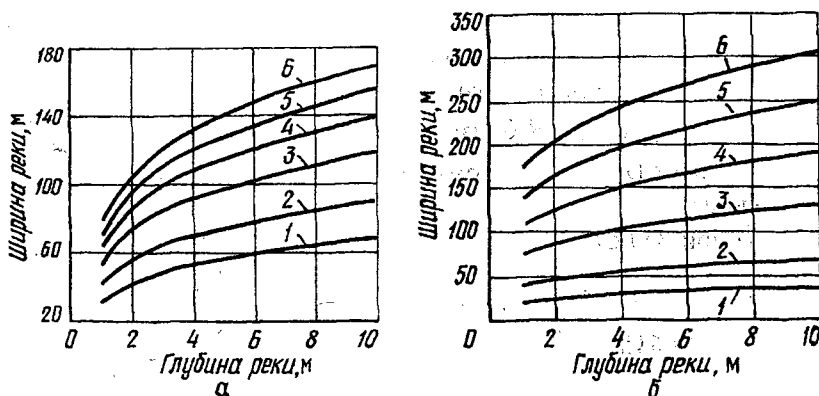


Рис. 2. График зависимости ширины реки от глубины: а – плесы; б – перекаты; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – при Q_{\max} соответственно 100, 200, 400, 600, 800, 1000 м³/с

Используя зависимости (10), (11), предполагается разработать алгоритм расчета габаритов плотов в динамике спада уровней в реке за весеннее половодье, что позволит организовать подготовку и буксировку плотов по оптимальной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драчев У. С., Соколов О. М., Федоров Н. А. Научно-техническая политика и инновационная деятельность в химико-лесном комплексе Архангельской области: Тез. докл. науч.-практ. конф. «Научно-техническая политика и развитие новых отраслей экономики Архангельской области». – Архангельск, 1998. – С. 14–15.

2. Харитонов В. Я., Вихарев А. Н., Главатских Н. С. Метод приближенной оценки лесотранспортных возможностей равнинных рек // Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 1998. – С. 232–240.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 19.01.99

V.Ya. Kharitonov, N.S. Glavatskikh

Mathematical Simulation of the Cross Section for Small and Medium Lowland Rivers

The natural cross sections for small and medium rivers of the Severodvinsk basin on reaches and rifts have been studied. The analytical dependencies have been selected for building the theoretical cross section of the river. The formulas for the dependence of the river width on its depth have been obtained.

УДК 676. 017

В.И. Комаров, М.Ю. Кузнецова

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.



Кузнецова Мария Юрьевна родилась в 1974 г., окончила в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – исследование деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ФАКТОРОВ НАПОЛНЕНИЯ БУМАГИ НА ЕЕ ВЯЗКОУПРУГИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Показано, что переменные факторы наполнения бумаги неоднозначно влияют на ее вязкоупругие свойства.

Введение наполнителя в сложную гетерогенную структуру бумаги приводит к возникновению дополнительной неравномерности связей между элементами структуры [1, 8]. Эта неравномерность – одна из причин высокой вариации физико-механических характеристик бумажного листа. Бумага, как и большинство реальных тел, проявляет в зависимости от условий как вязкие, так и упругие свойства, обладает свойствами жидкостей и твердых тел, т. е. является вязкоупругим материалом, в котором наряду с мгновенными упругими деформациями развиваются мгновенные неупругие, величины которых зависят от времени или скорости нагружения [4, 7].

Нами исследовано совместное влияние переменных факторов наполнения бумаги (т. е. соотношения целлюлозного волокна, наполнителя и сернокислого алюминия) на ее вязкоупругие и прочностные свойства.

В лабораторных условиях были изготовлены четыре серии образцов из лиственной беленой сульфатной целлюлозы, размолотой до 35° ШР:

1 – с различным содержанием каолина; зольность образцов изменялась от 0,4 (у бумаги без наполнителя) до 22,4 %; масса 1 м^2 постоянная и равна 75 г/м^2 , т. е. количество волокна m снижалось с увеличением содержания наполнителя, расход глинозема при этом увеличивался;

2 – с различным содержанием каолина; содержание наполнителя соответствовало образцам серии 1, но при этом масса волокна постоянная, т. е. возрастала масса 1 м^2 ;

3 – без наполнителя с различным количеством волокна, соответствующим по массе волокна образцам серии 1;

4 – без наполнителя с различными количеством волокна и расходом глинозема на отливку; расход глинозема соответствовал образцам серии 1.

Образцы исследованы при приложении растягивающей нагрузки (скорость 50 мм/мин) с получением и обработкой кривой зависимости напряжение – деформация ($\sigma - \epsilon$); определены межволоконные силы связи по Иванову $F_{\text{св}}$, нулевая разрывная длина L_0 , сопротивления раздиранию R и продавливанию P . Используются методики испытаний работ [3, 5].

Результаты экспериментов приведены в таблице и на рисунке, где величины характеристик представлены в процентах (за 100 % принята величина соответствующего показателя для образца, изготовленного из волокна без добавок, масса $1 \text{ м}^2 - 75 \text{ г}$). Для серий 1, 3, 4 построены зависимости характеристик от величины, обратной массе волокна, для серии 2 (с постоянной массой волокна) – от зольности.

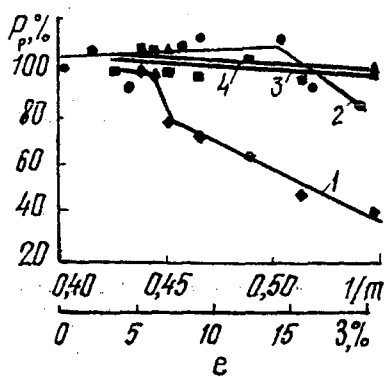
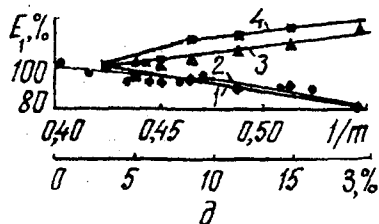
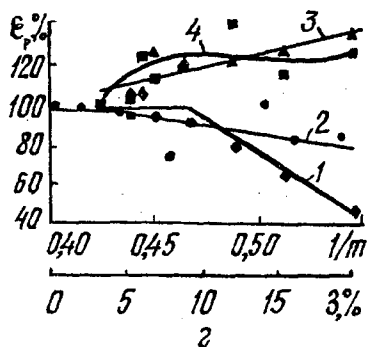
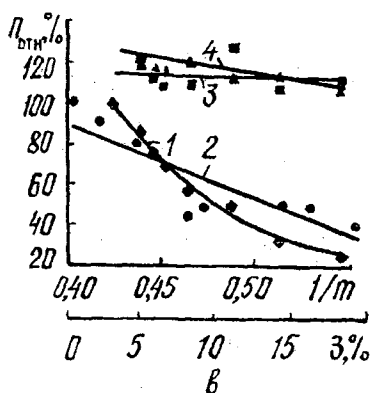
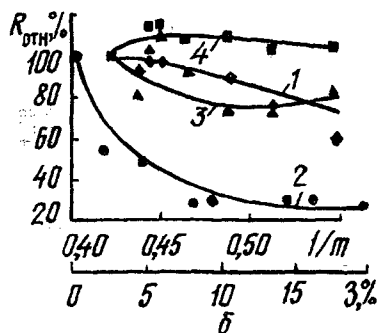
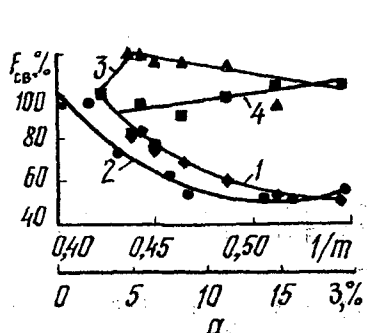
Прочностные и вязкоупругие показатели образцов бумаги

Номер серии	Зольность* или количество глинозема**	Масса волокна, г	F _{св} , МПа	L _{об} , м	P _р , Н	L, м	R _{свн} , мН	P _{свн} , кПа	E ₁ , МПа	%			σ _т /E ₁		
										E _р	ε _т /ε _р	E _р /E ₁		E ₂ /E ₁	
1	0,4	2,36	1,59***	8 500	84,9	7 400	799	468	4 750	2,15	24,2	43,8	29,2	14,9	1,78
	3,6	2,28	1,28	8 200	82,8	7 300	749	408	4 600	2,55	20,6	38,7	25,8	12,7	1,40
	4,4	2,25	1,33	8 300	80,6	7 100	779	356	4 450	2,23	23,7	36,2	29,0	12,8	1,41
	5,8	2,22	1,16	7 600	66,8	5 900	774	324	4 450	2,00	17,8	39,6	28,3	12,8	1,14
	8,3	2,15	1,10	7 900	60,8	5 400	741	265	4 500	2,10	24,8	47,4	31,6	15,0	1,03
	12,2	2,05	0,94	6 800	54,9	4 900	724	232	4 300	1,67	25,9	47,6	31,8	15,4	0,97
	15,8	1,95	0,83	5 900	41,2	3 800	611	151	4 300	1,38	27,3	48,1	34,0	17,2	0,74
	20,3	1,83	0,82	5 700	36,6	3 300	478	114	3 850	1,01	24,8	53,0	35,3	20,1	0,72
	2,2	2,36	1,53	9 000	73,1	8 700	730	424	6 300	2,14	43,7	40,8	40,8	18,6	1,28
	4,7	2,36	1,16	10 300	63,2	7 500	748	382	5 750	2,07	40,4	48,1	28,8	15,6	1,17
2	8,1	2,36	0,97	9 100	76,6	6 400	838	219	4 100	1,61	59,6	69,7	69,7	47,8	1,32
	9,3	2,36	0,85	8 600	80,9	6 400	729	232	3 700	1,97	57,4	37,3	49,7	26,8	1,43
	14,5	2,36	0,82	8 500	82,1	6 300	765	240	2 450	2,14	55,4	45,9	34,4	17,2	1,44
	16,4	2,36	0,82	8 800	72,5	5 300	723	230	3 350	1,77	60,7	48,7	24,3	18,7	1,26
	19,6	2,36	0,87	8 300	71,9	4 900	779	193	3 100	1,78	57,7	62,1	37,3	30,1	1,30
	—	2,28	1,92	7 800	93,0	8 700	854	555	4 850	2,22	48,5	58,0	46,4	25,2	1,51
	—	2,25	1,90	8 200	91,0	8 600	907	551	4 750	2,28	49,3	57,6	47,1	24,7	1,54
	—	2,22	1,86	7 900	92,9	8 000	914	548	4 750	2,70	37,6	58,4	48,7	21,6	1,54
	—	2,15	1,84	7 400	89,0	9 000	856	562	4 900	2,59	40,1	50,8	40,7	21,1	1,55
	—	2,05	1,82	7 500	89,1	9 100	863	532	5 050	2,63	38,4	48,5	38,8	21,4	1,49
3	—	1,95	1,53	7 000	84,8	9 100	816	534	5 200	2,72	35,1	50,1	35,2	18,9	1,45
	—	1,83	1,72	7 100	86,3	9 700	837	507	5 600	2,89	29,8	51,9	34,6	18,8	1,46
	0,09	2,28	1,3	9 400	94,2	8 600	662	567	4 550	1,99	73,3	54,9	27,5	18,1	1,60
	0,19	2,25	1,51	8 800	93,0	8 800	828	522	4 800	2,62	43,2	51,4	30,8	12,7	1,58
	0,32	2,22	1,21	8 800	84,5	8 900	873	501	4 850	2,42	50,1	55,4	26,1	16,5	1,57
	0,42	2,15	1,44	8 300	83,3	8 700	738	511	5 300	2,54	39,0	46,4	24,5	17,0	1,43
	0,78	2,05	1,58	8 100	90,2	9 700	598	597	5 400	2,99	35,4	43,5	35,5	17,9	1,56
	1,02	1,95	1,67	8 200	81,5	9 100	587	500	5 350	2,44	40,7	48,3	38,9	19,5	1,39
	1,64	1,83	1,66	7 800	84,1	9 900	670	524	5 450	2,67	34,0	46,4	37,1	18,9	1,45

* Серия 1, 2 в процентах

** Серия 4 в г Al₂(SO₄)₃ / г волокна

*** Величины, выделенные жирным шрифтом, приняты за 100 % при построении кривых на рисунке.



Зависимость величины межволоконных сил связи $F_{св}$ (а), относительных: сопротивлений раздиранию $R_{отн}$ (б) и продавливанию $\Pi_{отн}$ (г), деформации разрушения ϵ_p (з), начального модуля упругости E_1 (д), показателя разрушающего усилия P_p (е) образцов серий 1 – 4 от количества волокна в отливке $1/m$ (1, 3, 4) и зольности 3 (2) бумаги (номер кривой совпадает с номером серии)

На рисунке а показано изменение межволоконных сил связи – фундаментальной характеристики, которая во многом определяет вязкоупругие и прочностные свойства материала.

С введением наполнителя величина межволоконных сил связи снижается для серий 1 и 2 примерно одинаково – на 35 %. При увеличении

расхода глинозема межволоконные силы связи растут (в данном случае глинозем оказывает некоторое упрочняющее воздействие, хотя в зависимости от условий он может вести себя и как инертный наполнитель [9]). У образцов серии 3 со снижением массы 1 м^2 межволоконные силы связи изменяются незначительно, в пределах ошибки опыта. Закон аддитивности при действии различных переменных факторов наполнения на межволоконные силы связи не соблюдается. Наибольшее снижение этого показателя вызывает введение наполнителя в бумагу как при постоянной (серия 1), так и при возрастающей (серия 2) массе 1 м^2 .

Представленные на рисунках б, в изменения относительных показателей сопротивления раздиранию $R_{\text{отн}}$ и сопротивления продавливанию $P_{\text{отн}}$ во многом аналогичны тенденции изменения $F_{\text{св}}$.

Величина $P_{\text{отн}}$ у образцов серии 3 при снижении массы 1 м^2 практически остается на одном уровне, у образцов серии 4, несмотря на рост межволоконных сил связи, данный показатель также не претерпевает значительных изменений. В образцах с наполнителем при росте зольности показатели $P_{\text{отн}}$ и $R_{\text{отн}}$ резко снижаются. $P_{\text{отн}}$ для серий 1 и 2 снижается пропорционально величине деформации разрушения (рисунок г). Это происходит вследствие уменьшения растяжимости бумаги. Упругие и деформационные свойства материала в значительной степени определяются однородностью структуры. Из графиков, приведенных на рисунках г, д, видно, что для серий 3 и 4 начальный модуль упругости E_1 и деформация разрушения ϵ_p несколько возрастают со снижением массы 1 м^2 волокна при отливе в исследованных нами пределах, так как при этом образуется более однородная структура. Для образцов с наполнителем показатели ϵ_p и E_1 с ростом зольности, а следовательно, и с ростом гетерогенности структуры понижаются.

Введение в структуру бумаги наполнителя оказывает значительное влияние на прочность. Процесс наполнения бумаги наряду с разломом вносит наибольшие изменения в структуру бумаги. У наполненных образцов серии 1 с постоянной массой 1 м^2 происходит скачкообразное уменьшение разрушающего усилия P_p (рисунок е). Ярко выраженное понижение прочности наблюдается при переходе от образцов с зольностью 4,4 % к образцам с зольностью 6,0 %. Разрушающее усилие снижается на 20 %. У образцов с наполнителем (серия 2) наибольшее снижение статической прочности наблюдается при зольности 14 ... 16 %. В соответствии с теорией протекания [2] при изменении структуры материала возможно скачкообразное изменение механических свойств. Вероятно, в данном случае скачки снижения прочности можно объяснить с позиций этой теории. При достижении критических условий (в данном случае – определенного значения зольности, соответствующего порогу протекания (перколяции)) происходит резкое изменение свойств. Для серий 3 и 4 снижение массы 1 м^2 и увеличение расхода сернокислого глинозема приводит к незначительному уменьшению P_p .

Для полной оценки бумаги как вязкоупругого материала недостаточно использовать только характеристику начального модуля упругости [6]. В таблице приведены некоторые из определяемых нами показателей

вязкоупругости, которые были рассчитаны по кривым зависимости напряжение – деформация. Из характеристик вязкоупругости использованы отношения разрушающего напряжения и модулей упругости в характерных точках зависимости напряжение – деформация к начальному модулю упругости – E_2/E_1 , E_n/E_1 , E_2/E_1 , σ_p/E_1 , а также вклад упругой деформации в общую деформацию разрушения $\varepsilon_1/\varepsilon_p$.

Величина относительного вклада (доли) упругой деформации в деформацию разрушения для серий 1 и 2 с ростом зольности возрастает вследствие увеличения хрупкости бумаги. Для серий 3 и 4 со снижением массы волокна этот показатель уменьшается. Значения характеристики $\varepsilon_1/\varepsilon_p$ у всех четырех серий различны, наименьшие – у образцов серии 1. Рост неоднородности структуры (для серий 1 и 2 – при увеличении зольности, для серий 3 и 4 – при увеличении массы 1 м^2) приводит к повышению хрупкости бумаги, характеризуемой снижением деформации разрушения и повышением вклада упругой деформации в общую.

С ростом зольности в образцах серий 1 и 2 снижение упругих свойств материала менее ощутимо – отношения E_2/E_1 , E_n/E_1 , E_2/E_1 растут. Для серий 3 и 4 со снижением массы волокна наблюдается обратная картина. Самые низкие по величине значения отношений E_2/E_1 , E_n/E_1 , E_2/E_1 отмечены у образцов серии 1, т. е. в присутствии минерального наполнителя и при одновременном снижении количества волокна в бумаге в большей степени развиваются пластические деформации по всему объему.

Выводы

1. Сопоставив влияние каждого из переменных факторов наполнения на прочностные и вязкоупругие показатели с их суммарным влиянием, можно отметить, что закон аддитивности не соблюдается.

2. Для образцов с наполнителем при достижении определенного значения зольности наблюдается скачкообразное понижение статической прочности P_p , которое описывает теория протекания. Значение зольности, при котором достигается скачок, можно считать порогом протекания (перколяции). Порог протекания не является постоянной величиной, а зависит в нашем случае от массы 1 м^2 бумаги.

3. Из всех исследованных факторов наибольшие изменения прочности и деформации разрушения вызывает введение наполнителя. Характеристики вязкоупругости зависят как от изменения зольности, так и количества волокна в отливке.

4. Наблюдается избирательность влияния различных переменных факторов наполнения на показатели вязкоупругости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабурин С.В., Киприанов А.И. Реологические основы процессов целлюлозно-бумажного производства. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 192 с.
2. Займан Дж. Модели беспорядка. – М.: Мир, 1982. – 592 с.

3. *Иванов С. Н.* Силы сцепления волокон в бумаге // Бум. пром-сть. – 1948. – № 3. – С. 8–17.
4. *Комаров В. И.* Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 25 – 44. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Лабораторный испытательный комплекс для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов / В.И. Комаров, Я.В. Казаков, В.М. Корнеев, А.А. Чайкин // Сб. тр. Междунар. научно-техн. конф. «Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химической промышленности». – Минск, 1999. – С. 250–253.
6. *Латищенко В.А.* Диагностика жесткости и прочности материалов. – Рига: Зинатне, 1968. – 320 с.
7. *Ферри Дж.* Вязкоупругие свойства полимеров. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 536 с.
8. *Фляте Д. М.* Свойства бумаги. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с.
9. *Чижов Г. И., Фляте Д. М.* Влияние состава гидроксидов алюминия на их активность по отношению к целлюлозе // Бум. пром-сть. – 1985. – № 4. – С. 9 – 11.

Архангельский государственный технический университет
Поступила 23.02.2000 г.

V.I. Komarov, M.Yu. Kuznetsova

Influence of Variable Factors of Paper Loading on its Viscoelastic and Strength Properties

The variable factors of paper loading are shown to influence the paper viscoelasticity in an ambiguous way.

УДК 676.1.023.7

***И.Н. Ковернинский, Керманян Хоссейн,
С.И. Третьяков, С.Ю. Бачурихин***

Ковернинский Иван Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии древесины и полимеров Московского государственного университета леса. Имеет более 100 научных трудов и изобретений в области технологии целлюлозно-бумажного производства.



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 более 70 печатных трудов в области химической переработки древесины.



ПРОКЛЕЙКА БУМАГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЛЕЙ-ПАСТЫ АНИОННОГО ТИПА

Представлены данные о проклейке бумаги из сульфатной небеленой целлюлозы, модифицированной клей-пастой анионного типа при pH 5,5 ... 6,5.

Производство бумаги и картона в нейтральной и слабощелочной среде (pH 6,8 ... 8,2) получило быстрое развитие с 70-х годов [2]. Применение новой технологии дает целый ряд неоспоримых преимуществ:

повышение эффективности проклеиваемых материалов;

повышение прочности бумаги;

возможность использования более дешевого и с повышенной белизной наполнителя;

повышение эффективности отбеливающих химикатов;

снижение энергозатрат на производство единицы продукции;

снижение эксплуатационных расходов.

Существенное снижение или полное удаление из бумажной массы сульфата алюминия, квасцов и др. и наличие щелочной среды приводит к увеличению прочностных свойств бумаги и картона, улучшению таких характеристик, как сопротивление разрыву, поверхностная прочность, жесткость, сгибаемость, гладкость и межволоконные силы сцепления, значительному повышению долговечности.

Производство бумаги и картона в нейтральной и щелочной среде в настоящее время осуществляют либо с использованием канифольной проклейки, либо проклейки синтетическими клеями. В данной статье будет кратко рассмотрена канифольная проклейка с использованием модифицированной клей-пасты анионного типа.

Интервал pH эффективной проклейки канифольными клеями составляет 4,3 ... 7,0. По современным представлениям его можно разделить на три зоны (4,3 ... 4,7; 4,7 ... 5,5; 5,5 ... 7,0), соответствующие трем основным видам канифольных клеев, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Вид клея	Оптимальный интервал pH	Максимальное значение pH	Соотношение расхода канифоль/квасцы
Эмульсия омыленной канифоли	4,3...4,7	5,0	1,0/1,5...2,0
Анионная эмульсия канифоли	4,7...5,5	6,2	1,0/1,0...1,5
Катионная эмульсия канифоли	5,5...7,0	7,4	1,0/0,5...1,0

Сырьем для производства всех видов канифольных клеев служат талловая или живичная канифоль в модифицированном виде. Омылением канифоли щелочью получают эмульсию омыленной канифоли, эмульгированием и анионной стабилизацией частично омыленной или неомыленной канифоли – анионную эмульсию канифоли, эмульгированием и катионной стабилизацией неомыленной канифоли – катионную эмульсию канифоли.

Интервал рН 4,3 ... 4,7 характерен для классической канифольной проклейки в кислой среде. Основа данного метода – взаимодействие ингредиентов воднодисперсной системы с образованием гидрофобных осадков – резинатов алюминия на поверхности волокон. Этот метод хорошо известен и применяется еще достаточно широко.

Интервал рН 4,7 ... 5,5, в котором выполняется эффективная проклейка анионными эмульсиями канифоли, приобрел большую значимость в связи с успехами технологии химического эмульгирования. Современные анионные эмульсии – высокосмоляные клеи, сложные в получении, но эффективные при проклейке, меньше подвержены влиянию отрицательных эффектов. Анионные эмульсии оказались значительно перспективнее омыленных клеев и стали популярными на рынке канифольных клеев.

Результаты опытно-промышленных испытаний клей-пасты, разработанной авторами на основе талловой модифицированной канифоли, для производства бумаги в среде с рН 5,5 ... 6,5 представлены в табл. 2. Клей-паста изготовлена с использованием модифицирующей добавки – промежуточного продукта переработки сырого таллового масла.

Эту клей-пасту использовали для приготовления рабочего раствора канифольного клея, который подавали в бумажную массу для проклейки. Как известно [1], любые типы канифольных клеев для гидрофобизации требуют применения соединений алюминия (квасцы, сульфат алюминия и др.). Максимально возможное снижение расхода кислотообразующих соединений алюминия, при прочих равных условиях, для обеспечения заданного качества бумаги ведет к проявлению указанных выше преимуществ. И чем в большей степени удастся снизить долю соединений алюминия в бумажной массе, тем заметнее проявление преимуществ.

Таблица 2

Показатели	Численные значения показателей клей-пасты
Внешний вид	Однородная пастообразная масса светло-коричневого цвета
Массовая доля, %:	
сухих веществ	70,9
свободных смоляных кислот	10,1
фумаропимаровой кислоты	8,0
Оптическая плотность раствора клея	0,2
Растворимость в воде, %	100

В сушильном цехе ОАО «Соломбальский ЦБК» была проведена опытная выработка промышленной партии оберточной бумаги марок «Б» и «Ж» с использованием для проклейки клей-пасты.

Испытания клей-пасты показали, что она эффективно проклеивает бумагу в интервале pH 5,5 ... 6,5 и ее можно использовать для приготовления клея. Бумага отвечает требованиям ГОСТ 8273 – 75.

Эффективность проклейки с помощью клей-пасты можно, по-видимому, объяснить естественной гидрофобностью неомыленной канифоли. Эмульгатор придает частицам анионную форму. Для осаждения и закрепления частиц канифоли на волокне невозможно обойтись без квасцов. Однако оптимальный pH смещен к нейтральной области, следовательно, расход квасцов значительно снизится.

Резюме вышеизложенному можно сформулировать в следующем виде: получена новая модификация клея-пасты анионного типа, позволяющая вести канифольную проклейку при pH среды, близкой к нейтральной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылатов Ю.А., Ковернинский И.Н. Проклейка бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 288 с.
2. Шмыга В. Изготовление бумаги в нейтральных и щелочных средах // Современные проблемы химии и химической промышленности. – М.: НИИТЭХИМ, 1988. – Вып. 11 (230). – 59 с.

Московский государственный университет леса
Архангельский государственный технический университет
ОАО «Соломбальский ЦБК»

Поступила 02.03.2000 г.

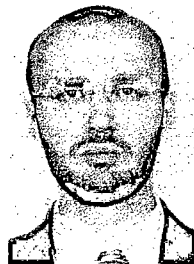
I.N. Koverninsky, K.H. Kermanyan, S.I. Tretjakov, S.Yu. Bachurikhin
Paper Sizing with Modified Size-paste of Anionic Type

The data is presented on sizing the paper from sulphate unbleached pulp with modified size-paste of anionic type at pH 5,5...6,5.

УДК 676.12

И.Н. Ковернинский, Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов

Дулькин Д.А. родился в 1966 г., окончил в 1989 г. высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана, исполнительный директор ОАО «Полотняно-заводская бумажная фабрика». Область научных интересов – технология бумаги и картона, использование макулатуры и современных химических средств.



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИСЧЕЙ И ПЕЧАТНОЙ БУМАГИ

Показано, что для приготовления макулатурной массы более подходящими являются не дисковые мельницы, а турбосепаратор или гидродинамическая мельница (энтштиппер).

Одним из перспективных экологически и привлекательных экономически путей наращивания производства бумаги является использование в ее композициях вторичных волокон. Макулатура отличается неоднородностью состава по волокну, белизне, физико-механическим показателям, степени помола и загрязненности посторонними включениями, в том числе и липкими, создающими особенно большие проблемы, связанные с забиванием сетки бумагоделательной машины, сукон, налипанием на поверхности сушильных цилиндров, снижением потребительских свойств бумаги.

Макулатура, поставляемая на ОАО «Полотняно-заводская бумажная фабрика» от ряда предприятий, различается по способности к разволокнению; степени помола и длине волокна (показатели колеблются соответственно от 20 до 64° ШР и от 1,2 до 2,4 мм); физико-механическим свойствам получаемых лабораторных образцов бумаги (показатель разрывной длины находится в диапазоне от 1500 до 3500 м, а белизны – от 57 до 83 %).

В табл. 1 даны основные свойства поступающей макулатуры и образцов бумаги из нее.

Все перечисленные различия в макулатуре разных поставщиков необходимо учитывать на стадии приготовления макулатурной массы, предназначенной для использования в композиции бумаги с конкретными физико-механическими показателями.

Следовательно, компоновочные решения технологической схемы должны предусматривать сохранение бумагообразующих свойств макулатурной массы; максимальное удаление посторонних минеральных (песок, металл) и органических (дерево, клей, полиэтилен, пенопласт и др.) включений; энергосбережение за счет возможно высокой концентрации суспензии и «щадящей» обработки вторичных волокон на размалывающих агрегатах.

Таблица 1
Физико-механические показатели бумажной массы и образцов бумаги из макулатуры от разных поставщиков

Порядковый номер образца	Состав макулатуры качественный	Массовая доля золь, %		Характеристика волокна		Физико-механические показатели образцов бумаги					
		количественный, %	зола, %	Степень помола, °ШР	Длина, дг(мм)	Масса 1 м ² , г	Разрывная длина, м	Белизна ч.д.п.	Сопротивление продавливанию, кПа		
1	Картон многослойный с белым поверхностным слоем	72	9	61	66(1,50)	79	1956	Низкая	5	114	
		28									
2	Обрезки оберточной бумаги	24	2	28	95(1,97)	80	2311	72,8 %	11	115	
	Лента кассовая	34									
	Обрезки ленты	42									
	Бумага санитарно-гигиеническая	47									
3	Картон белый с цветной полосою	50	8	34	59(1,35)	78	2799	83,4 %	13	125	
		Обрезки белой бумаги									3
		Обрезки цветной бумаги									85
4	Журналы Газеты	15	17	43	83(1,18)	79	1793	Низкая	8	107	
		100									
5	Бумага оберточная	100	1	24	141(2,40)	82	1531	Низкая	1	70	
6	Макулатура в нерегулируемом соотношении	100	16	26	127(2,32)	79	2077	Низкая	6	91	

Продолжение табл. 1

Поряд- ковый номер образца	Состав макулатуры качественный		количес- твенный, %	Массовая доля зола, %	Характеристика волокна		Физико-механические показатели образцов бумаги				
					Степень по- мола, °ШР	Длина, дц(мм)	Масса 1 м ² , г	Разрывная длина, м	Белизна	Сопротивление	
										излому, ч.д.п.	продавли- ванию, кПа
7	Обрезки белой бумаги		100	15	38	620(1,40)	78	2998	80,2 %	22	148
8	Гофротара		100	5	25	125(2,30)	81	3528	Низкая	45	179
9	Обрезки цветной бумаги Отходы газетной бумаги Отходы бумаги разной белизны		50 20 30	7	40	76(1,65)	79	2222	Низкая	6	102
10	Срывы книжно-журнальной бумаги		100	1	57	77(1,66)	77	3255	57 %	12	131
11	Календари с многокрасочной печатью на высокоглянцевой бумаге		100	28	20	51(1,20)	78	1770	Низкая	3	84
12	Бумага белая с покрытием		100	34	64	83(1,78)	80	2182	67,2 %	9	103

Примечание. Роспуск образцов 1–4, 6, 9–12 проходит без затруднений, 5 – с затруднениями, 7, 8 – с большими затруднениями.

Таблица 2

Способность макулатуры к помолу

Продолжительность размола, с	Удельный расход энергии, кВт·ч/т	Степень помола, °ШР	Средняя длина волокна, дг
–	–	50	39
20	35	57	36
40	70	61	33
60	120	64	33
80	160	68	31
100	200	74	28

Исключительно важным является полное разволокнение макулатурной массы без ухудшения ее бумагообразующих свойств. Нами исследован процесс размола макулатуры марок МС-1А и МС-2А на дисковой мельнице.

Размол смеси макулатуры марок МС-1А (89 %) и МС-2А (11 %) проводили при массовой доле волокна в суспензии 25 г/дм^3 и удельной нагрузке на кромки ножей 300 Дж/км в соответствии с рекомендациями для данного полуфабриката*. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, исходная макулатурная масса имеет уже достаточно высокую исходную степень помола (50° ШР). Следует отметить, что после роспуска она содержит большое количество точечных сгустков волокон.

Визуальное наблюдение за разбавленной волокнистой суспензией показало, что после 20 с размола сгустки практически отсутствуют. Необходимо отметить, что целесообразность такого способа удаления сгустков должна быть оценена исходя из затрат электроэнергии на размол. Более разумным представляется решение этой проблемы за счет пропуска распущенной в гидроразбавителе массы через турбосепаратор, а при необходимости – через энтштиппер.

На рис. 1 и 2 представлены экспериментальные зависимости степени помола и массового показателя средней длины волокна соответственно от удельного расхода энергии на размол и степени помола.

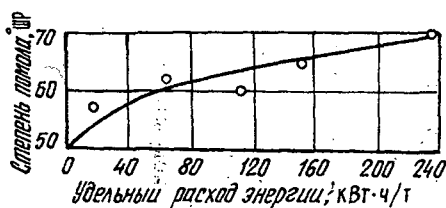


Рис. 1. Влияние удельного расхода энергии на степень помола макулатурной массы

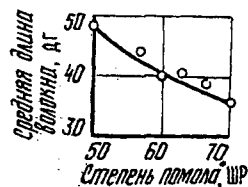


Рис. 2. Влияние степени помола на среднюю длину волокна

* Пашинский В. Ф. Машины для размола волокнистой массы. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 56 с.

Таблица 3

Изменение в процессе размола физико-механических показателей макулатуры марок МС-1А, МС-2А

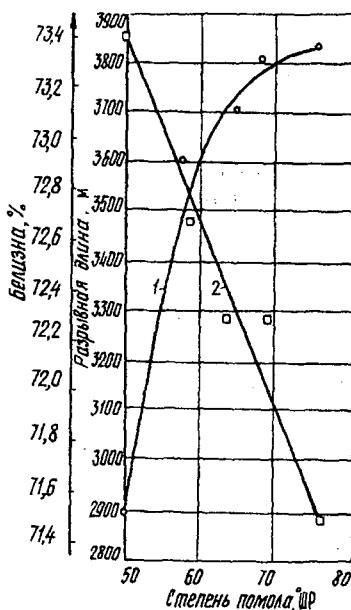
Степень помола, °ШР	Масса 1 м ² , г	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Сопротивление продавливанию (абс.), кПа	Разрывная длина, м	Белизна, %
50	74,5	167	0,446	126,1	2910	73,7
57	75,7	165	0,459	140,3	3613	72,8
64	77,5	167	0,464	162,1	3728	72,3
68	75,7	163	0,464	163,7	3839	72,3
74	75,0	162	0,463	171,8	3865	71,4

Как видно из рис. 1, в данном эксперименте наблюдалось «мягкое» воздействие размалывающих ножей гарнитуры на волокна макулатуры. При изменении степени помола на 48 %, длина волокна уменьшалась лишь на 28 %.

Изменение физико-механических показателей макулатурной массы при размоле показано в табл. 3 и на рис. 3. Максимальный эффект прироста разрывной длины достигается в первые 20 с размола. При этом исчезают сгустки волокон, разрывная длина увеличивается до 3600 метров, белизна уменьшается лишь на 0,5 %.

Дальнейшее ножевое воздействие на макулатурную массу бессмысленно, так как приводит к незначительному приросту (на 200 м) разрывной длины, снижению белизны (на 2,1 %), повышению степени помола (до 74° ШР) и удельного расхода электроэнергии (в 5 раз). Однако при использовании такой суспензии могут возникнуть большие проблемы с удерживанием

Рис. 3. Влияние степени помола на разрывную длину (1) и белизну (2) бумаги из макулатуры



волокна на сетке и его дальнейшим обезвоживанием в мокрой части бумагоделательной машины.

Таким образом, для приготовления макулатурной массы из смеси макулатуры марок МС-1А и МС-2А с достаточно высокой исходной степенью помола (до 50° ШР) необходим дороспуск лепестков макулатуры и ступков волокон. Для этой цели более подходящими являются не дисковые мельницы, а турбосепаратор, одновременно с разволокнением макулатуры удаляющий легкие и тяжелые посторонние включения, и гидродинамическая мельница (энтштиппер), гарнитура которой не оказывает режущего воздействия на волокна.

Московский государственный университет леса
ОАО «Полотняно-заводская бумажная фабрика»
Украинский научно-исследовательский институт бумаги

Поступила 21.04.2000 г.

I.N. Koverninsky, D.A. Dulkan, V.A. Spiridonov
**Analysis of Waste Paper Bulk for Writing and Printing Paper
Production**

The turbine separators or hydrodynamic mills (entshtipper) are shown to be more suitable than disk mills for preparing the waste paper bulk.

УДК 630*86:577.158

*Г.П. Александрова, С.А. Медведева, Э.С. Ступина,
В.А. Петренев, И.В. Сергеева, А.П. Сеницын, О.Н. Окунев*

Александрова Галина Петровна родилась в 1955 г., окончила в 1977 г. Иркутский государственный университет, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Иркутского института химии СО РАН. Имеет более 60 научных работ в области химии древесины и ее компонентов.



Медведева Светлана Алексеевна родилась в 1942 г., окончила в 1966 г. Иркутский государственный университет, доктор химических наук, зав. лабораторией биохимии природных полимеров Иркутского института химии СО РАН. Имеет более 120 научных работ в области химии древесины и ее компонентов.



Петренев Валерий Александрович родился в 1951 г., окончил в 1976 г. Иркутский государственный университет, заведующий лабораторией отбелки ОАО «Сибирский НИИ ЦБП». Имеет более 30 печатных работ в области производства целлюлозы.



Сергеева Ирина Васильевна родилась в 1955 г., окончила в 1977 г. Хабаровский политехнический институт, научный сотрудник лаборатории отбелки целлюлозы ОАО «Сибирский НИИ ЦБП». Имеет более 10 печатных работ в области производства целлюлозы.



ОТБЕЛКА ХВОЙНОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КСИЛАЗНЫХ ФЕРМЕНТОВ

Определена эффективность введения ферментативной ступени с использованием ксиланазных препаратов в процессе обработки небеленых хвойных сульфатных целлюлоз с различной исходной жесткостью в схемах отбелки (ECF) без применения элементарного хлора; выявлены оптимальные параметры процесса (нагрузка фермента, температура процесса, рН среды, продолжительность обработки); разработаны технологические схемы отбелки с включением ферментативной ступени.

Использование ферментов при отбелке целлюлозы является важным достижением биотехнологии, позволяющим перевести целлюлозно-бумажные предприятия в ранг экологически безопасных [1]. Для получения высокой конечной белизны товарного продукта все новые промышленные схемы требуют предварительного снижения содержания остаточного лигнина в целлюлозе перед отбелкой.

Одно из направлений осуществления этого условия связано с использованием ферментов [2, 6 – 11]. Ферментную обработку используют как для снижения содержания лигнина в сульфатцеллюлозных массах, т. е. для увеличения их белизны, так и для облегчения белимости. Работы по применению ферментов при отбелке велись в двух альтернативных направлениях: с использованием ферментов оксидазного типа, вызывающих деструкцию лигнина [2, 7, 8], и гемицеллюлазного типа, гидролизующих гемицеллюлозы [1, 6, 9 – 11]. Несмотря на обнадеживающие результаты, полученные при обработке сульфатных целлюлоз оксидазными ферментами, практического выхода это направление пока не получило из-за технологических трудностей, возникающих при культивировании продуцентов, и малого выхода оксидаз. Гемицеллюлазы относятся к группе более доступных ферментов, так как могут быть получены в большом количестве с использованием имеющегося стандартного оборудования. Поскольку производство гемицеллюлаз гораздо ближе к промышленному освоению, метод имеет большие экономические перспективы.

Задача заключалась в исследовании эффективности разрабатываемых нами препаратов ксиланазных ферментов в процессе отбелки хвойных сульфатцеллюлозных масс различной жесткости.

В эксперименте использовали образцы хвойной сульфатной целлюлозы Братского ЛПК с различной исходной жесткостью: № 1 – 11,9; № 2 – 19,8; № 3 – 36,0 ед. Каппа. Содержание остаточного лигнина в целлюлозе определяли перманганатным методом (число Каппа) [4], белизну измеряли на приборе «Sresol ZV». Отливки целлюлозы для измерения белизны готовили согласно ГОСТ 7690–76.

В работе были использованы ксиланазные препараты грибного и бактериального происхождения. Содержание белка в ферментных препаратах определяли по методу Лоури, ксиланазную активность – по способности гидролизовать ксилан [3], целлюлазную активность – по количеству редуцирующих сахаров, образующихся при гидролизе фильтровальной бумаги (метод Шомоди–Нельсона с использованием в качестве стандарта ксилозы и глюкозы соответственно) [3].

Характеристики ферментов представлены в табл. 1. Препараты обладали высокой ксиланазной и низкой целлюлазной активностью.

Таблица 1

Характеристики использованных ферментов

Фермент	Белок, %	Активность, Е/мл		pH _{опт}	T _{опт} °C
		ксиланазная	целлюлазная		
93-2	5,0	95	-	6,5...7,5	50...60
130	6,0	320	-	6,5...7,5	50...60
130-2	1,6	310	0,22	6,0...8,0	50...60
35-2	13,0	324	37,00	4,0...5,0	55...60
35-3	11,0	623	3,00	4,0...5,0	55...60

Для ферментативной обработки целлюлозы навеску массой 3 ... 50 г (в расчете на абс. сухое вещество) заливали раствором фермента (при оптимальном рН). Расход фермента 10 ... 40 Е на 1 г целлюлозы, концентрация целлюлозной массы 10 %, температура 50 ... 55 °С, продолжительность 1 ... 3 ч. После промывки водой массу обрабатывали в течение 0,5 ч при 70 °С раствором NaOH. Расход щелочи 0,5 % от массы целлюлозы.

Далее образцы целлюлозы отбеливали по следующим схемам:

1. Q – П (расход H_2O_2 – 3,0 %);
2. Q – П – П – Д / Q – Д (расход H_2O_2 – 4,0 %, ClO_2 – 4,0 %);
3. $ЩO_2$ – D_0 – $ЩОП$ – Д – П (расход H_2O_2 – 1,6 %, ClO_2 – 4,0 %).

Механические испытания проводили по стандартной методике.

Как известно, к числу факторов, влияющих на ферментативную активность, относится температура реакции и кислотность среды. Для определения оптимальных условий работы ферментов были исследованы температурные и рН-зависимости проявления ксиланазной активности. В результате эксперимента было установлено, что ферменты проявляли максимальную активность в интервале 50 ... 60 °С (табл. 1), что является весьма удобным для их использования при отбелке, поскольку отбеливаемая масса в таком случае не требует значительного охлаждения. Преимуществом препаратов 93-2, 130, 130-2 является также то, что максимум их ксиланазной активности находится в нейтральной области рН 6 ... 8. Препараты 35-2, 35-3 и многие известные гемицеллюлазные препараты работают в слабокислой среде. Эти свойства весьма значимы при создании промышленной технологии.

Для принципиальной оценки эффективности действия ферментов было использовано изменение количества удаляемого из сульфатцеллюлозных масс лигнина. Образцы целлюлозной массы № 3 обрабатывали ферментом 130-2 в условиях проявления им максимальной активности. После обработки проводили щелочную экстракцию образцов с целью извлечения освобождающегося лигнина. Анализ динамики изменения жесткости (содержания остаточного лигнина) показал, что воздействие ферментами способствует удалению большего количества лигнина, чем просто щелочная обработка. Эта зависимость для сульфатной хвойной целлюлозы № 3 с жесткостью 36,0 ед. Каппа представлена в табл. 2. Количество извлекаемого лигнина закономерно возрастает в зависимости от продолжительности ферментативной стадии, наибольшее его значение отмечено при 3-часовой обработке ферментами. Степень извлечения лигнина зависит также и от расхода фермента. С увеличением нагрузки фермента с 10 до 40 Е на 1 г целлюлозной массы количество остаточного лигнина снижается. Таким образом, совершенно очевидно, что использование ксиланазных ферментов способствует увеличению экстрагируемости остаточного лигнина из целлюлозных масс.

Для выявления эффективности ферментативной ступени в качестве стандартной [7] была выбрана пероксидная схема отбелки (1). С целью изучить влияние ферментативной обработки на белимость целлюлозной массы

варьировали продолжительность обработки и расход исследуемых ферментных препаратов. Величину делигнификации характеризовали изменением содержания остаточного лигнина и белизны образцов.

Увеличение продолжительности ферментативной обработки от 1 до 3 ч способствовало более полному извлечению остаточного лигнина. Белизна образцов хвойной сульфатной целлюлозы (образец № 3) после щелочной промывки увеличилась на 5–8 единиц в случае использования фермента 130-2 (табл. 2), для образцов с низкой исходной жесткостью (образец № 1) – на 2 ... 4 % в случае других ферментов (табл. 3).

При введении ступени ферментативной обработки в процесс пероксидной отбелки (1) сульфатных целлюлоз индивидуальный эффект этой ступени сохраняется (табл. 2, 3). Предварительное повышение белизны на 5–8 единиц в результате ферментативной обработки целлюлозы № 3

Таблица 2

Влияние обработки ферментом 130-2 на белизну и жесткость образца целлюлозы № 3, отбеленной по схеме 1

Порядковый номер образца	Нагрузка, Е/г	Продолжительность	Белизна после щелочения, %	Жесткость, ед. Каппа	Белизна, %
1	10	1	28,0	33,5	55,0
2	10	2	29,0	33,0	56,0
3	10	3	30,0	32,0	57,0
4	20	1	29,0	32,0	56,0
5	20	2	30,0	33,0	57,0
6	20	3	31,0	32,0	58,0
7	40	1	28,5	32,0	-
8	40	2	29,0	32,0	-
9	40	3	29,0	31,0	-

Примечание. Характеристика исходного образца: белизна после щелочения 23,0 %, жесткость 36,0 ед. Каппа, белизна 53,0 %.

Таблица 3

Влияние ферментативной обработки на белизну образца целлюлозы № 1, отбеленной по схеме 1 (расход ферментов 20 Е/г, продолжительность 2 ч)

Фермент	Белизна после ступени, %	
	щелочения	пероксидной отбелки
93-2	33,5	62,5
130	34,0	63,0
35-2	33,5	62,0
35-3	36,0	63,5

Примечание. Характеристики исходного образца: белизна после щелочения 32,0 %, после пероксидной отбелки – 60,5 %.

позволяет получить конечный продукт с белизной 55...58 %, т. е. на 3...5 % больше, чем в контроле. Для остальных ферментов прибавка белизны на целлюлозе низкой исходной жесткости (№ 1) составила 2...3 %. На основании полученных результатов можно предположить, что доступность ксилана в различных целлюлозных массах неодинакова. Различные ксиланазные препараты могут отличаться по способности увеличивать конечную белизну.

На основании полученных данных была выбрана продолжительность обработки ферментным препаратом в течение 2 ч, позволяющая оценить и сравнить в дальнейшем действие различных ферментов. Известно, что образцы целлюлозы с различной жесткостью имеют различную белимость, причем целлюлоза с низким содержанием остаточного лигнина отбеливается значительно труднее. Поэтому для оценки эффективности ферментативной ступени при отбелке целлюлозы различного происхождения сравнивали воздействие исследуемых ферментов при одинаковой нагрузке на хвойную сульфатную целлюлозу низкой жесткости.

Результаты, приведенные в табл. 3, наглядно свидетельствуют, что наибольшую прибавку белизны после ферментативной ступени обеспечивают ферменты 130 и 35-3, а после проведения пероксидной ступени отбелки прирост белизны на 2 ... 3 % по сравнению с исходным обеспечивают эти же ферменты и фермент 93-2. Сочетание ферментативной ступени с пероксидной по эффективности воздействия сравнимо со ступенью хлорирования и может ее заменить в технологических процессах.

Для получения товарного продукта была проведена отбелка целлюлозы № 1 без использования элементарного хлора по схеме 2 [5] с использованием на ферментативной ступени обработки ферментов 130 и 35-3 в течение 2 ч. Результаты, приведенные в табл. 4, показывают, что можно получить хвойную сульфатную целлюлозу с белизной 86 ... 88 % без использования элементарного хлора и удовлетворительными (хотя и низкими) прочностными характеристиками.

При использовании препарата 130-2 с меньшим расходом ферментов (10 ... 15 Е/г) на ферментативной ступени при отбелке по схеме 3 были получены образцы целлюлозы с очень хорошими прочностными характеристиками и высокой белизной (табл. 5).

Таблица 4

Результаты механических испытаний образца целлюлозы № 1, отбеленной по схеме 2 с использованием ферментативной ступени (расход ферментов 40 Е/г)

Фермент	Белизна, %	Разрывная длина, м	Сопротивление	
			продавливанию, кПа	раздиранию, мН
130	88,3	4400	127	325
35-3	86,2	5800	196	485

Таблица 5

Результаты механических испытаний образца целлюлозы № 2, отбеленной по схеме 3 с использованием фермента 130-2

Расход фермента, Е/г	Жесткость после ферментативной ступени, ед.К	Белизна, %	Разрывная длина, м	Сопротивление		
				продавливанию, кПа	раздиранию, мН	излому, ч.д.п.
10	15,5	86,4	8500	404	730	1700
15	14,9	87,1	8100	414	880	1900

Примечание. Характеристика исходного образца: разрывная длина 9900 м, сопротивление продавливанию, раздиранию, излому соответственно 571 кПа, 890 мН, 2100 ч.д.п.

Таким образом, при отбелке целлюлозы по схемам без использования элементарного хлора может быть получена целлюлоза с белизной на уровне 86 ... 88 %.

Вывод

Определены факторы, влияющие на эффективность ферментативной ступени отбелки, и выявлен оптимальный режим обработки хвойной сульфатной целлюлозы отечественными ферментными препаратами ксиланазной активности, приводящий к повышению белизны на 2 ... 8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джойс Т. Приложения биохимической технологии в производстве бумаги // Междунар. научно-техн. конф. «БумФор-92». – С.-Петербург, 1992. – С. 255–268.
2. Медведева С.А., Александрова Г.П., Бабкин В.А. Экологическое преобразование производства целлюлозы на основе биотехнологий // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – № 5–6. – С. 313–320.
3. Методы экспериментальной микологии / Под ред. В.И. Билай. – К.: Наук. думка, 1982. – 550 с.
4. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Экология, 1991. – 319 с.
5. Совершенствование технологии производства целлюлозы на Братском ЛПК / В.А. Петренев, А.Д. Сергеев, Г.А. Трифонов, Ю.Ю. Рыжов // Целлюлоза, бумага, картон. – 1995. – № 11–12. – С. 15–16.
6. Ферменты – новый экологически безопасный реагент для отбелки сульфатной целлюлозы / С.А. Медведева, Г.П. Александрова, В.А. Бабкин и др. // Тез. докл. III Всерос. совещания «Лесохимия и органический синтез». – Сыктывкар, 1998. – С. 204.
7. Changes of the chromophoric composition of hard and soft kraft cellulose in the process of microbiological and peroxide bleaching / G.P. Aleksandrova, S.A. Medvedeva, A.I. Vokin, V.A. Babkin // Advances in Lignocellulosics. Chemistry for Ecologically Friendly Pulping and bleaching Technologies: Proceedings of Fifth

European Workshop on Lignocellulosics and Pulp. – Aveiro (Portugal), 1998. – P. 109–111.

8. Kraft pulp bleaching by redox enzymes / M.G. Paice, R. Bourbonnais, J. Reid, F.S. Archibald // Proceedings of 9th ISWPC, Montreal, Oral pres, June 9–12. – 1997. – P. PL 1–1 – PL 1–4.

9. *Suurnakki A. et al.* Intl. Pulp Bleaching Conf. – 1994. – P. 111–113.

10. Use enzymes in kraft pulp bleaching / G.P. Aleksandrova, S.A. Medvedeva, V.A. Babkin et al. // Advances in Lignocellulosics. Chemistry for Ecologically Friendly Pulping and bleaching Technologies: Proceedings of Fifth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp. – Aveiro (Portugal), 1998. – P.113–115.

11. Xylanases in bleaching: From an idea to the industry / L. Viikari, A. Kantelinen, J. Sundquist, M. Linko // FEMS Microbiology Reviews. – 1994. – 13. – P. 335–350.

Иркутский институт химии СО РАН
Поступила 18.03.99

*G.P. Alexandrova, S.A. Medvedeva, E.S. Stupina, V.A. Petrenev,
I.V. Sergeeva, A.P. Sinit syn, O.N. Okunev*

Bleaching of Softwood Sulphate Pulp by Using Xylanase Enzymes

The efficiency of introducing enzymatic stage with xylanase enzymes into the treatment of unbleached softwood sulphate pulps with different initial hardness in the elementary chlorine free bleaching sequence (ECF) is determined. The optimal operating parameters are revealed; bleaching sequences involving the enzymatic stage are developed.

УДК 676. 017

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

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 отбеливания сульфатной целлюлозы.



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.



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 белой целлюлозы.



Казаков Яков Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 научных трудов в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



ВЛИЯНИЕ ОТБЕЛКИ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТВЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Установлен оптимальный режим для IV ступени отбеливания лиственной сульфатной целлюлозы пероксидом водорода в щелочной среде, обеспечивающий сохранение прочности волокон и сил связи между ними с одновременным достижением высокой белизны.

В настоящее время в мировой практике отбеливания хвойной и лиственной целлюлозы широко применяют пероксид водорода. На отечественных предприятиях в схемах отбеливания целлюлозы его используют в основном взамен таких хлорсодержащих реагентов, как хлор и гипохлорит; при совместном использовании с диоксидом хлора он дает возможность получать целлюлозу белизной 87... 89 % с сохранением механических свойств. При такой схеме отбеливания не требуется реконструкции существующего технологического оборудования.

С целью более глубокого изучения воздействия пероксида водорода на физико-механические свойства целлюлозы был проведен эксперимент, позволяющий разработать оптимальный режим для ступени ЩП₂ в схеме отбелики лиственной сульфатной целлюлозы Д₀-ЩП₁-Д₁-ЩП₂-Д₂ с конечной белизной 87 ... 89 % и установить влияние факторов отбелики ступени ЩП₂ на физико-механические свойства целлюлозы.

Условия отбелики пероксидом водорода определялись спецификой его воздействия. В ходе эксперимента использовали лиственную сульфатную целлюлозу с показателями, которые определяли по стандартным методикам: число Каппа – 14,0, жесткость – 66 п.ед., вязкость – 900 мл/г. Показатели целлюлозы после ступени Д₁: белизна – 65 %, вязкость – 549 мл/г.

Процесс отбелики на ступени ЩП₂ контролировали показателями белизны и вязкости целлюлозы. Варьируемые факторы отбелики на этой ступени изменяли в следующих пределах: расход – от 10 до 20 кг/т; продолжительность – от 1 до 4 ч; температура – от 70 до 90 °С.

Полученные экспериментальные результаты (рис. 1 – 6) отражают особенности отбелики пероксидом водорода в зависимости от изменения одного из трех перечисленных выше факторов.

Из представленных на рис. 1 графиков видно, что при изменении величин факторов отбелики в заданных интервалах быстрый рост белизны наблюдается в течение двух первых часов обработки, после чего отмечается лишь незначительный прирост показателя (0,6 ... 1,0 %).

Характер влияния температуры на белизну целлюлозы (рис. 1, а) практически одинаков в интервале расхода пероксида водорода от 10 до 20 кг/т. Повышение температуры от 70 до 80 °С сопровождается приростом белизны в среднем на 1,0 ... 1,2 %, а дальнейшее ее увеличение до 90 °С не приводит к повышению белизны. Добавка сульфата магния не повлияла на белизну целлюлозы при отбелике с расходом пероксида водорода 20 кг/т и температуре 90 °С (рис. 1, б), что объясняется качеством используемой воды. В данном случае использовали дистиллированную воду, что исключило присутствие ионов тяжелых металлов (Fe, Mn, Cu, Ni), которые вызывают разложение пероксида водорода и снижение белизны.

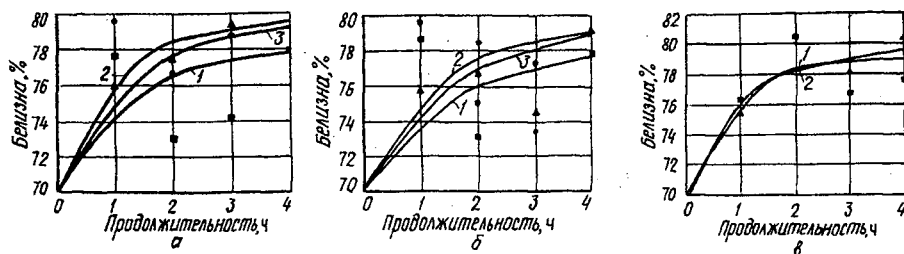


Рис. 1. Зависимость белизны целлюлозы от факторов отбелики пероксидом водорода на ступени ЩП₂ при различных расходе H₂O₂ и температуре: а, в – 10, б – 15 кг/т; 1 – 70, 2 – 80, 3 – 90 °С

**Влияние изменяющихся факторов отбелки пероксидом водорода
(расход 15 кг/т) на вязкость целлюлозы**

Продолжительность обработки, ч	Вязкость, мл/г, при температуре, °С		
	70	80	90
1	575	587	523
2	520	517	483
3	509	531	513
4	562	551	502

Изменение вязкости при расходе пероксида водорода от 10 до 20 кг/т аналогично (см. таблицу). Вязкость целлюлозы после ступени Д₁ составляла 549 мл/г.

Из данных таблицы видно, что при повышении температуры от 70 до 80 °С и продолжительности обработки 1 ... 3 ч наблюдается снижение вязкости, а при продолжительности 4 ч – рост. Этот факт можно объяснить особенностями деструкции углеводов: в первые три часа она приводит к снижению вязкости, затем степень деструкции достигает уровня, при котором низкомолекулярные фракции переходят в раствор и вязкость несколько возрастает.

Высокая температура обработки пероксидом водорода (90 °С) ускоряет процессы деструкции волокна низкомолекулярной фракции, поэтому повышение вязкости происходит уже к трем часам обработки. При дальнейшем увеличении продолжительности обработки до 4 ч при температуре 90 °С процесс деструкции волокна ускоряется и проходит наиболее глубоко, что подтверждается резким снижением вязкости целлюлозы.

Анализ рис. 1 позволяет сделать вывод, что оптимальный режим для ступени ЩП₂ имеет следующие параметры: расход 10 ... 15 кг/т, продолжительность 2 ч, температура 70 ... 80 °С (в зависимости от требуемого уровня белизны), концентрация массы 6 %, расход щелочи 7 кг/т (рН 11 ... 12).

На следующем этапе эксперимента изучали влияние факторов отбелки пероксидом водорода на свойства волокна и характеристики механической прочности целлюлозы, которые определяли по стандартным методикам. Для исключения влияния фактора размола на изменение свойств целлюлозы испытаниям подвергали отливки из неразмолотой лиственной сульфатной целлюлозы после ступени отбелки Д₁ со степенью помола 16° ШР и массой 75 г/м².

Для оценки механических свойств целлюлозы определяли нулевую разрывную длину L_0 , силу связи $F_{св}$, плотность листа ρ , разрывную длину L , сопротивление продавливанию Π , которые после ступени Д₁ имели следующие значения: $L_0 = 2907$ м, $F_{св} = 0,18$ МПа, $\rho = 0,52$ г/см³, $L = 1163$ м, $\Pi = 21,3$ кПа.

Далее был проведен регрессионный анализ с целью получить математическую модель, описывающую влияние факторов отбелки на ступени ЩП₂. Для чего использовали уравнение полинома

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2,$$

где $b_0, b_1, b_2 \dots$ – коэффициенты;

x_1 – расход H_2O_2 , кг/т;

x_2 – продолжительность обработки, ч;

x_3 – температура обработки, °С;

После вычисления коэффициентов уравнения регрессии производили расчет значений выходного параметра в зависимости от влияющих факторов. Были получены зависимости характеристик материала от двух параметров процесса отбелки, третий параметр фиксировали на уровне, принятом в качестве оптимального (расход H_2O_2 15 кг/т, продолжительность 2 ч; температура 80 °С).

Обобщая данные, представленные на рис. 2–6, можно отметить, что в течение первого часа отбелки пероксидом водорода наблюдается

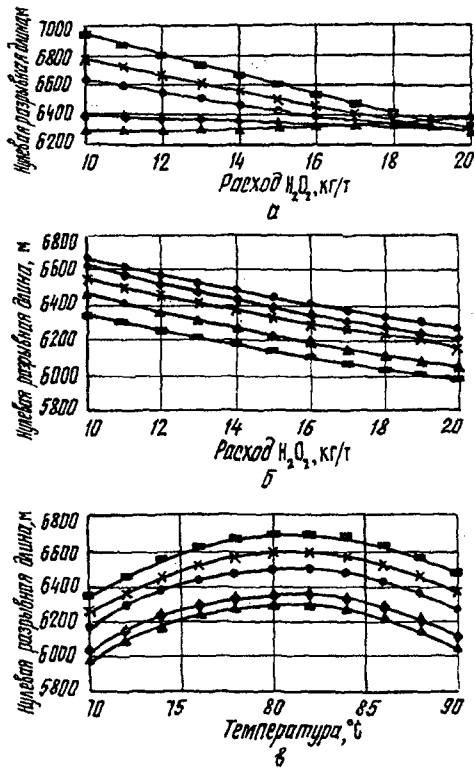


Рис. 2. Зависимость нулевой разрывной длины целлюлозы от факторов отбелки пероксидом водорода на ступени ЩП₂: а – расход H_2O_2 при различной продолжительности, б – то же при различной температуре, в – температура при различном расходе H_2O_2 (обозначения: ● — 1,0 ч; 70 °С; 10 кг/т; × — 1,6; 74; 12; ● — 2,2; 78; 14; ◆ — 3,4; 86; 18; ▲ — 4,0; 90; 20)

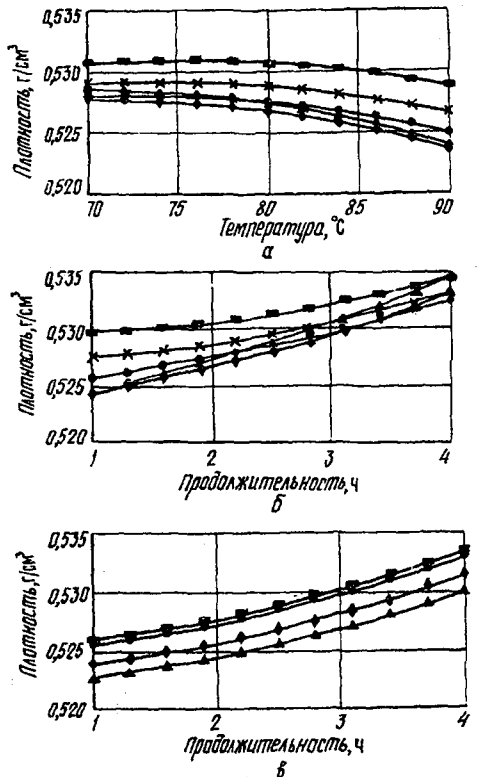


Рис. 3. Зависимость плотности листа от факторов отбелки пероксидом водорода на ступени ЩП₂: а – температура при различном расходе H_2O_2 , б – продолжительность при различном расходе H_2O_2 , в – то же при различной температуре (обозначения: ■ — 10 кг/т; 10 кг/т; 70 °С; × — 12, 12, 74; ● — 14, 14, 78; ◆ — 18, 18, 86; ▲ — 20; 20; 90)

некоторый рост нулевой разрывной длины, плотности листа и разрывной длины по сравнению с показателями на ступени Д₁. Дальнейшее увеличение продолжительности обработки до 2 ч практически не влияет на изменение нулевой разрывной длины; наблюдается незначительный прирост разрывной длины до 100 м, плотности до 0,003 г/см³, сопротивления продавливанию до 3 кПа.

При обработке, продолжающейся более 2 ч, L_0 снижается тем больше, чем ниже расход пероксида водорода (см. рис. 1, б). Влияние температуры (рис. 1, в) имеет иной характер: до 80 °С отмечен рост нулевой разрывной длины, затем ее снижение. По всей видимости, при температуре 70 ... 80 °С преимущественно растворяется низкомолекулярная фракция, что приводит к снижению L_0 , а при температуре 90 °С более заметна деструкция волокна. Это хорошо согласуется с характером изменения вязкости.

Несколько иначе ведет себя характеристика сил связи $F_{св}$: при расходе 10 ... 15 кг/т этот показатель практически не зависит от продолжительности обработки, однако при высоких расходах силы связи достигают более высокого уровня (рис. 3). Увеличение продолжительности обработки приводит к снижению этого показателя, через 4 ч обработки значения сил связи одинаковы для всех расходов в интервале 10 ... 15 кг/т.

Характер влияния температуры на прочностные свойства аналогичен влиянию продолжительности.

Изменение сил связи, может быть объяснено также протекающими процессами окисления и деструкции волокна, приводящими к росту этого показателя.

Как видно из рис. 2, 5, изменения разрывной длины и плотности весьма незначительны. Для разрывной длины разница между начальными и конечными значениями составляет не более 100 м, для плотности – 0,007 г/см³.

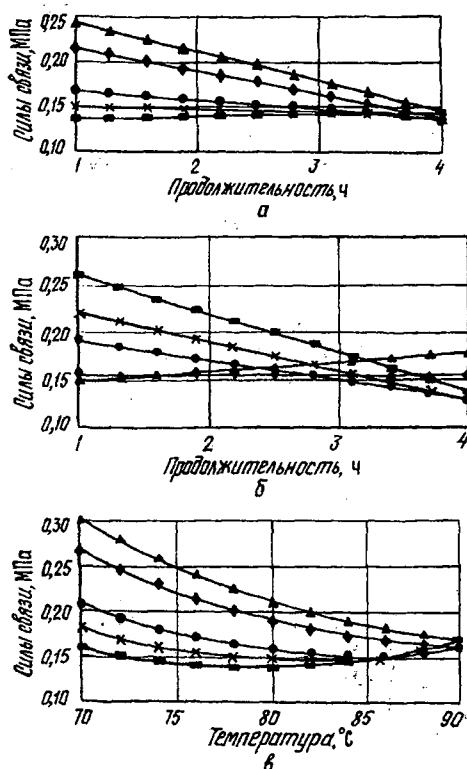


Рис. 4. Зависимость межволоконных сил связи от факторов отбеливания пероксидом водорода на ступени ЩП₂: а – продолжительность при различном расходе H₂O₂, б – то же при различной температуре, в – температура при различном расходе H₂O₂ (см. обозначения на рис. 3)

Характеристика сопротивления продавливанию повторяет характер изменения разрывной длины. Разница между начальными и конечными значениями для различных расходов пероксида водорода по сравнению с продолжительностью и температурой более существенна, т. е. основным фактором, влияющим на сопротивление продавливанию, является расход H_2O_2 (см. рис. 4).

При варьировании факторов отбелики полученные характеристики изменяются аналогично. Повышение расхода, продолжительности и температуры вызывает несущественную деструкцию волокна и приводит к некоторому снижению характеристик прочности.

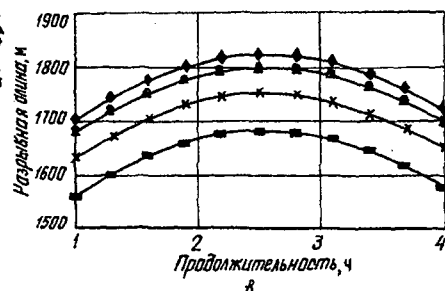
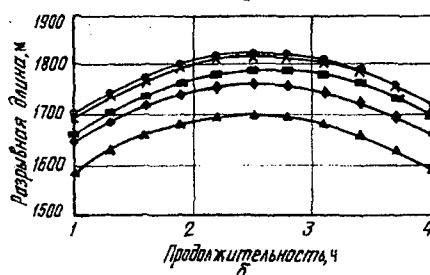
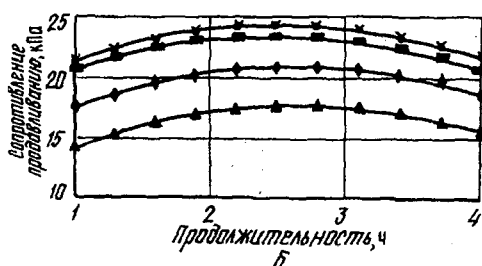
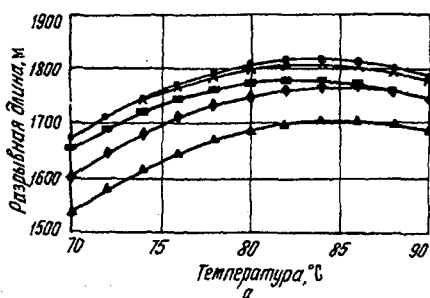
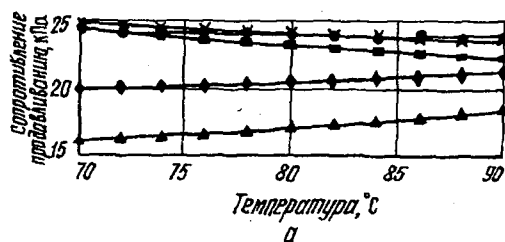


Рис. 5. Зависимость сопротивления продавливанию от факторов отбелики пероксидом водорода на ступени ЩП₂: а – температура при различном расходе H_2O_2 , б – продолжительность при различном расходе H_2O_2 ; в – то же при различной температуре (см. обозначения на рис. 3)

Рис. 6. Зависимость разрывной длины от факторов отбелики пероксидом водорода на ступени ЩП₂: а – температура при различном расходе H_2O_2 , б – продолжительность при различном расходе H_2O_2 ; в – то же при различной температуре (см. обозначения на рис. 3)

Сопоставляя полученные зависимости характеристик механической прочности с вязкостью и белизной целлюлозы, следует отметить, что в исследованном интервале значений расхода реагента, температуры и продолжительности обработки не наблюдается существенной деструкции волокна и влияния данных факторов на механические свойства лиственной сульфатной целлюлозы.

Таким образом, режим отбеливания на ступени ЦП₂, обеспечивающий высокий уровень большинства характеристик прочности, белизны и вязкости, определяется следующими параметрами: концентрация массы 6 %, расход пероксида водорода 10 ... 15 кг/т, температура обработки 70 ... 80 °С, продолжительность 2 ч, расход щелочи 7 кг/т (рН 11 ... 12).

Архангельский государственный технический университет

Поступила 23.02.2000 г.

*T.A. Koroleva, V.I. Komarov, A.A. Milovidova, G.V. Komarova,
Ya.V. Kazakov*

Influence of Hydrogen Peroxide Bleaching on Physical-and-mechanical Properties of Hardwood Sulphate Pulp

The optimum mode for the IV stage of bleaching of hardwood sulphate pulp by hydrogen peroxide in the alkaline condition has been established providing preservation of fiber strength and their binding with high brightness at the same time.

УДК 676.1.023.1

*А.М. Кряжев, Ф.В. Шпаков, Л.К. Звездина,
О.Л. Зарудская, А.И. Глазунов, А.В. Аввакумова*

Кряжев Анатолий Максимович родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник ВНИИБ. Имеет около 50 печатных трудов в области создания технологий и оборудования для механохимического обессмоливания сульфатной целлюлозы, отбеливания целлюлозы.



Шпаков Федор Васильевич родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, заведующий лабораторией белых полуфабрикатов ВНИИБ. Имеет свыше 100 печатных трудов в области разработок новых экологически безопасных технологий получения полуфабрикатов различного назначения.



Звездина Лариса Константиновна родилась в 1952 г., окончила в 1974 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ВНИИБ. Имеет более 70 печатных трудов в области разработок новых экологически безопасных технологий получения полуфабрикатов различного назначения и методик по определению показателей сточных вод.



Зарудская Ольга Леонидовна родилась в 1941 г., окончила в 1963 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ВНИИБ. Имеет около 80 печатных трудов в области исследования экологически безопасных технологий отбелки различных видов целлюлозы.



Глазунов Александр Иванович родился в 1929 г., окончил в 1955 г. Ленинградский военно-механический институт, ведущий научный сотрудник ВНИИБ. Имеет около 70 печатных трудов в области создания нового аппаратного оформления механохимической обработки лигноцеллюлозных материалов для экологически безопасных технологий получения беленых полуфабрикатов различного назначения, теоретических и прикладных исследований, направленных на повышение эффективности процессов отбелки целлюлозы.



Аввакумова Альбина Васильевна родилась в 1946 г., окончила в 1971 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ВНИИБ. Имеет около 60 печатных трудов в области разработки технологии отбелки ECF и TCF различных видов целлюлозы.



ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОТБЕЛКИ СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ БУМАГИ

В схеме отбелки сульфитной целлюлозы TCF рассмотрены современные технологические приемы: механохимическое обессмоливание, делигнифицирующая обработка молекулярным кислородом и пероксидом водорода, отбелка пероксидом водорода при высокой концентрации массы, обеспечивающие высокие показатели качества беленого полуфабриката и позволяющие уменьшить сброс загрязнений от отбельной установки на внеплощадочные очистные сооружения.

Одними из наиболее значительных достижений 70–90-х годов XX века в области производства беленых полуфабрикатов являются отказ при отбелке от использования молекулярного хлора и переход к обработке целлюлозной суспензии при средней концентрации (8 ... 18 %). Эти решения, а также применение в схемах отбелки промывных прессов, работающих

при концентрации поступающей массы до 10 %, внесли свой вклад в улучшение экологической обстановки, повышение экономической эффективности обработки целлюлозы и послужили основой для создания в промышленных условиях первых замкнутых циклов водооборота в отбельных цехах [13].

Наиболее бурное развитие исследований в области полностью бесхлорных технологий отбелики целлюлозы (ТСФ) произошло в последнее десятилетие XX века.

В данной статье рассмотрены технические решения, разработанные на основе результатов научно-исследовательских работ лаборатории белевых полуфабрикатов АО ВНИИБ в области отбелики сульфитной целлюлозы для бумаги.

Известно, что отбелика сульфитной целлюлозы только пероксидом водорода по технологии 80-х годов не позволяет достигнуть уровня показателя белизны более 80 ... 84 %. Кроме того, стояла задача повышения эффективности использования дорогостоящего реагента – пероксида водорода, по сравнению с молекулярным хлором – основным реагентом, применяемым по традиционной технологии отбелики целлюлозы.

Как показали проведенные нами исследования [8, 10–12], белимость целлюлозы пероксидом водорода зависит от содержания металлов переменной валентности в реакционной системе отбелики целлюлозы и жесткости небеленой целлюлозы, поступающей на отбелку. Кроме того, эффективность процесса обеспечивается максимально возможным использованием наиболее дешевого отбеливающего реагента – молекулярного кислорода, и сокращением числа ступеней отбелики.

Распад пероксида водорода в щелочной среде реакционной системы, протекающий по ионному механизму, приводит к образованию основной отбеливающей частицы – аниона гидропероксида HOO^- . Металлы переменной валентности оказывают каталитическое воздействие на распад пероксида водорода по радикальному механизму с образованием исключительно реакционноспособных радикалов: гидроксильного $\text{HO}\bullet$ и супероксид-аниона $\text{O}_2\bullet^-$. В частности, окислительный потенциал гидроксильного радикала в водном растворе (нейтральная среда) составляет 2,32 В и является наибольшим из всех известных для отбельной системы окислителей. Из-за высокого окислительного потенциала гидроксильный радикал имеет короткую продолжительность жизни и практически мгновенно вступает в реакцию со всеми компонентами лигноуглеводной матрицы целлюлозного волокна на месте своего образования, что и приводит к снижению механических свойств беленой целлюлозы.

Проведенные исследования [10, 11] позволили экспериментально установить максимально допустимый уровень содержания металлов переменной валентности в реакционной системе отбелики (железо – 0,0020 %, медь – 0,0001 %, марганец – 0,0001 %), который обеспечивает преимущественное разложение пероксида водорода с образованием ангидропероксидного иона HOO^- . Как показали результаты исследований и опытно-промышленных

испытаний, превышение «безопасного уровня» содержания зольных компонентов (Cu, Fe, Mn) в реакционной системе может быть связано как с дополнительным их поступлением за счет оборудования, так и с химикатами, водой и оборотными фильтратами, что предъявляет более высокие требования к подготовке свежей воды и состоянию трубопроводов и оборудования.

С целью сокращения потерь пероксида водорода на разложение и сохранения механической прочности белой целлюлозы для связывания в реакционной системе металлов переменной валентности предложено [12] применять относительно дешевый отечественный препарат фиолент.

Экономическая и инвестиционная ситуация в России не позволяет в настоящее время рассчитывать на значительные объемы капитальных вложений. Поэтому для модернизации существующих отбельных цехов сульфит-целлюлозных предприятий необходимо использовать технологические решения, позволяющие поэтапно и с минимальными капитальными вложениями обеспечивать конкурентоспособность российских белых целлюлозных полуфабрикатов и повышать экологическую безопасность технологических процессов.

Снижение содержания массовой доли смол и жиров в сульфитной целлюлозе и исключение «смоляных затруднений» в процессе ее производства на российских предприятиях является актуальной задачей и в настоящее время.

Известно, что обработка сульфитной целлюлозы в щелочной среде благоприятно влияет на снижение массовой доли смол и жиров. Однако эффективность обработки целлюлозы при низкой и средней концентрации недостаточна. Повышение эффективности такой обработки достигается при концентрации массы 20 ... 40 % [5]. Исследования по разработке технологии и созданию аппаратурного оформления процесса механохимического обессмоливания были начаты в АО ВНИИБ еще в середине 80-х годов и завершились разработкой и испытанием аппарата МХО [4]. В АО «Петрозаводскмаш» для этих целей успешно прошел испытания промышленный аппарат трения [2].

По технологии, разработанной АО ВНИИБ [9], более пяти лет на Светогорском ЦБК эффективно работала установка механохимического обессмоливания с использованием аппарата «Фротапульпер». Данная установка позволила отказаться от применения узла отделения мелкого волокна, снабженного смолоотделителями «Аттис», и обеспечить низкий уровень массовой доли смол и жиров в вязкой и ацетатной сульфитной целлюлозе.

Изучение методом электронной микроскопии субмикроструктуры целлюлозы показало более глубокую степень разработки структуры клеточной стенки волокон, прошедших механохимическую обработку. Однако в связи с экономическим кризисом данные технические решения не были реализованы в промышленности.

С целью демонстрации возможностей аппарата трения, разработанного и изготовленного АО «Петрозаводскмаш», в январе 1998 г. сотрудни-

**Показатели качества образцов целлюлозы до и после обработки
на аппарате трения***

Целлюлоза	Жесткость, п. ед.	Белизна, %	Массовая доля смол и жиров, %
Небеленая: образец I	71	63,0	1,25
образец II	35	61,3	2,00
После МХО: образец I	55	50,0	0,55
образец II	30	60,6	0,67

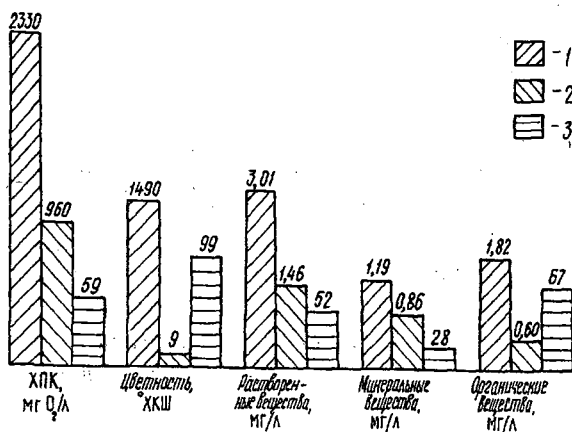
* После обработки промывку целлюлозы осуществляли горячей водой.

ками опытной базы завода, расположенной на Кондопожском ЦБК, совместно с сотрудниками лаборатории беленых полуфабрикатов АО ВНИИБ проведены экспериментальные работы по механохимическому обессмоливанию промышленных образцов сульфитной целлюлозы.

Образцы целлюлозы обрабатывали на аппарате трения производительностью до 10 т/сут. по абс. сухому веществу. Рабочие органы аппарата – два шнека диаметром 175 мм, витки которых входят друг в друга с некоторым фиксированным зазором. Шнеки вращаются в противоположных направлениях с приводом от двух синхронно вращающихся валов, связанных через общий редуктор с электродвигателем постоянного тока мощностью 108 кВт. Целлюлозную массу, предварительно смешанную со щелочью (расход NaOH – 15 кг/т) и нагретую до температуры 70 °С, пропускали через аппарат. После обработки образцы промывали водой. В таблице приведены показатели качества целлюлозы после ступени механохимической обработки (МХО), показывающие возможность достижения высокой эффективности обессмоливания (~ 60 %).

Реализация данного способа обессмоливания на предприятиях отрасли создаст основу не только повышения конкурентоспособности отечественной белой сульфитной целлюлозы, но и организации максимально замкнутого водооборота, что является необходимым условием экологической безопасности производства. Это связано с возможностью проведения

Рис. 1. Характеристика загрязненности фильтрата ступени МХО (1) и очищенной воды (2) после локальной очистки (степень очистки (3) по показателям приведена в процентах)



локальной очистки загрязненных фильтратов от ступени МХО. На рис. 1 представлена характеристика фильтратов до и после локальной очистки. Очищенный фильтрат возвращается в производство, а выделенный осадок может быть направлен на сжигание в корьевого котел, что обеспечит снижение нагрузки на очистные сооружения.

Известно, что уровень показателей жесткости и белизны целлюлозы как после варочного процесса, так и после делигнифицирующих обработок небеленой целлюлозы оказывает существенное влияние на последующий расход отбеливающих реагентов, прирост показателя белизны по ступеням отбелки, количество ступеней отбелки и конечную белизну целлюлозного полуфабриката. Поэтому представляло интерес провести сравнение способов делигнификации небеленой целлюлозы, обеспечивающих снижение жесткости и эффективный прирост белизны.

Одним из приемов делигнификации небеленой целлюлозы является кислородно-щелочная обработка (КЩО). Для повышения ее эффективности используют добавки пероксида водорода в количестве 5 ... 7 кг/т (ступень КЩО/П). Применяют также способ делигнификации небеленой целлюлозы с использованием только пероксида водорода (Π_d), проводимый без избыточного давления. Совместная обработка целлюлозы пероксидом водорода и кислородом может осуществляться под давлением как в течение всего (60 мин) процесса (ПО), так и кратковременно (10 ... 15 мин) в реакционной колонке (ЩОП), когда последующая отбелка пероксидом водорода протекает при атмосферном давлении. Делигнификация с применением ступени ПО или ЩОП принципиально отличается от КЩО/П тем, что основным делигнифицирующим реагентом на ступенях ПО и ЩОП является пероксид водорода, расход которого в зависимости от жесткости поступающей целлюлозы колеблется от 15 до 35 кг/т абс. сухого волокна.

На рис. 2 представлены показатели качества целлюлозы после проведения ступени делигнификации различными методами. Как видно из диаграммы, содержание массовой доли смол и жиров в целлюлозе после ступени Π_d почти в два раза выше, чем после проведения других делигнифицирующих обработок (ПО и КЩО). Поэтому с целью дополнительного снижения содержания экстрактивных веществ исследовали применение механохимической обработки небеленой целлюлозы. Из диаграммы (рис. 3) вид-

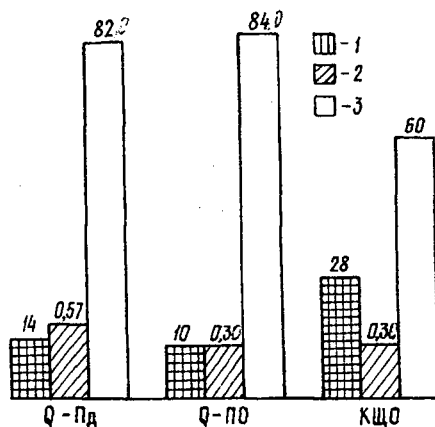
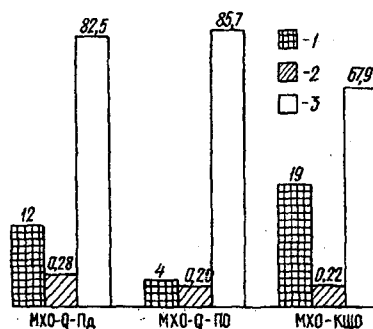


Рис. 2. Сравнение различных методов делигнификации сульфитной целлюлозы из хвойных пород древесины (показатели качества небеленой целлюлозы: жесткость 71 п. ед.; массовая доля смол и жиров 1,15 %; белизна 59,8 %): 1 – жесткость, 2 – массовая доля смол и жиров, 3 – белизна

Рис. 3. Сравнение различных методов делигнификации сульфитной целлюлозы с дополнительной механической обработкой (показатели качества небеленой целлюлозы: жесткость 71 п. ед.; массовая доля смол и жиров 1,15 %; белизна 59,8 %): 1 – жесткость, 2 – массовая доля смол и жиров, 3 – белизна



но, что предварительная механохимическая обработка для ступени П_д способствовала существенному (в два раза) снижению массовой доли смол и жиров. Следует также отметить положительное влияние механохимической обработки на показатели качества целлюлозы, обработанной по технологии ПО и КЩО (рис. 3).

Полученные результаты показывают, что узел МХО совместно с делигнификацией П_д, проводимой на существующем оборудовании отбелного цеха, может рассматриваться как первый возможный этап перевода схемы отбелики сульфитной целлюлозы на технологию ECF. Однако следует подчеркнуть, что для сохранения экономической эффективности производства необходимо осуществить мероприятия по снижению жесткости небеленой целлюлозы до 60 п. ед. при одноступенчатом способе варки и до 45 п. ед. при двухступенчатом.

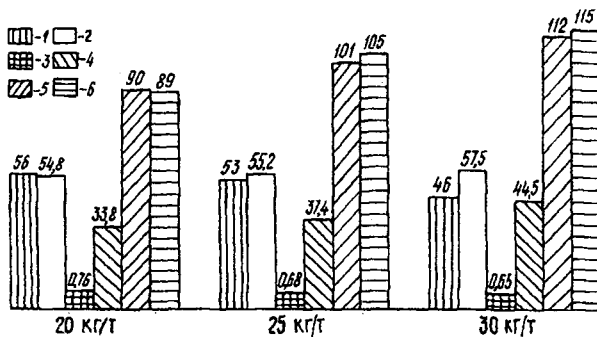


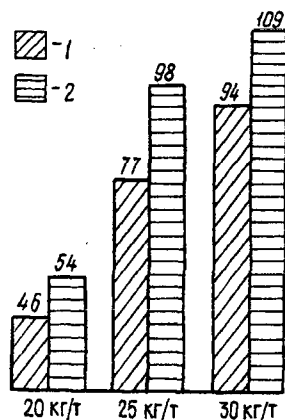
Рис. 4. Изменение показателей качества сульфитной целлюлозы (1 – жесткость, п. ед.; 2 – белизна, %; 3 – массовая доля смол и жиров, %) и загрязненности фильтратов (4 – цветность, кг/т абс. сухой целлюлозы; 5 – ХПК, кг О₂/т; 6 – растворенные вещества, кг/т) после проведения ступени КЩО (условия: температура 95 °С, продолжительность 1 ч, давление кислорода 0,5 МПа, концентрация массы 10 %, расход сульфата магния 1 кг/т) с различным расходом (20, 25, 30 кг/т) гидроксида натрия (показатели качества небеленой целлюлозы: жесткость 72,5 п. ед., массовая доля смол и жиров 1,27 %, белизна 61,0 %, разрывная длина 11 200 м, сопротивление излому 840 ч. д. п., сопротивление раздиранию 320 мН)

Вторым этапом модернизации может стать переход от делигнификации по технологии П_д в схеме ECF к более эффективной технологии с применением молекулярного кислорода и установкой необходимого оборудования.

Совместное использование молекулярного кислорода и пероксида водорода оправдано общим механизмом их воздействия в щелочной реакционной системе на остаточный лигнин небеленой целлюлозы [7]. Кроме того, это позволит сократить число ступеней отбелки и даст экономию гидроксида натрия.

На рис. 4 показано, как в зависимости от расхода NaOH, при прочих равных условиях проведения процесса, изменяются показатели качества целлюлозы и загрязненность фильтратов. Однако величина ХПК фильтратов КЩО зависит не только от расхода щелочи, но и от уровня содержания металлов переменной валентности (рис. 5), что еще раз подчеркивает необходимость наблюдения за уровнем содержания зольных компонентов в реакционной системе.

Рис. 5. Влияние расхода гидроксида натрия (кг/т) на ХПК (кг O₂/т абс. сухой целлюлозы) фильтратов ступени КЩО (жесткость небеленой сульфитной целлюлозы 73 п.ед.; условия ступени КЩО: температура 105 °С, продолжительность 60 мин, давление кислорода 0,5 МПа) при различной массовой доле зольных компонентов: 1 – 0,010 % Fe, 2 – 0,002 % Fe



Теоретическое обоснование влияния на эффективность протекания процесса отбелки целлюлозы пероксидом водорода таких параметров, как температура и давление в реакционной системе, приведено в статье [6]. Для разработки технологических приемов совместной обработки целлюлозы пероксидом водорода и молекулярным кислородом представляло интерес определить необходимую величину давления, а также продолжительность его воздействия на эффективность процесса делигнификации. На рис. 6 показан прирост белизны сульфитной целлюлозы в зависимости от продолжительности совместной обработки под давлением и с последующим проведением отбелки пероксидом водорода при атмосферном давлении. Как видно из рис. 7, технологические приемы (ЩОП – 5 ... 10 мин обработки под давлением и ПО – 60 мин обработки под давлением) по достигаемому показателю белизны для сульфитной целлюлозы являются равнозначными.

Кроме того, совместное использование кислорода и пероксида водорода по сравнению с обработкой П_д (рис. 7), при прочих равных условиях,

позволяет сократить в 2–3 раза продолжительность процесса, необходимую для достижения одного и того же уровня белизны.

Полученные экспериментальные данные можно объяснить с позиций массопереноса в трехфазной реакционной системе, где результирующая скорость взаимодействия целлюлозы с кислородом и пероксидом водорода может определяться диффузионным сопротивлением на границах раздела фаз газ – жидкость и жидкость – твердое тело.

Повышенное давление увеличивает растворимость кислорода в воде и, следовательно, способствует росту его концентрации в жидкой фазе, что обуславливает диффузионный поток O_2 на границе жидкость – поверхность волокна. По-видимому, этим ограничивается основное влияние избыточного давления. Однако при наличии в сетке волокон и в самих волокнах замкнутых полостей (пор и капилляров) их объем при увеличении внешнего давления пропорционально сокращается, что также улучшает условия диффузии как кислорода, так и пероксида водорода в суспензии за счет некоторого увеличения площади поверхности раздела жидкость – твердое тело. Это предположение основано на результатах работы [1], где показано, что при давлении 0,5 МПа в целлюлозной суспензии вытесняются все пустоты, препятствующие прохождению ультразвука.

Проведение делигнификации сульфитной целлюлозы пероксидом водорода по отработанным технологическим параметрам позволяет достигать не только низких значений показателя жесткости целлюлозы, массовой доли смол и жиров, но и высоких значений белизны (82 ... 85 %). Можно предположить, что такой уровень белизны делигнифицированной целлюлозы должен обеспечить при последующей одноступенчатой отбелке пероксидом водорода в беленом полуфабрикате белизну порядка 87 ... 89 %. Таким образом, третьим этапом реконструкции схемы отбелки сульфитной целлюлозы может стать переход от схемы ECF к схеме TCF.

Дальнейшие исследования были посвящены проблемам выбора эффективной технологии отбелки сульфитной целлюлозы пероксидом водорода.

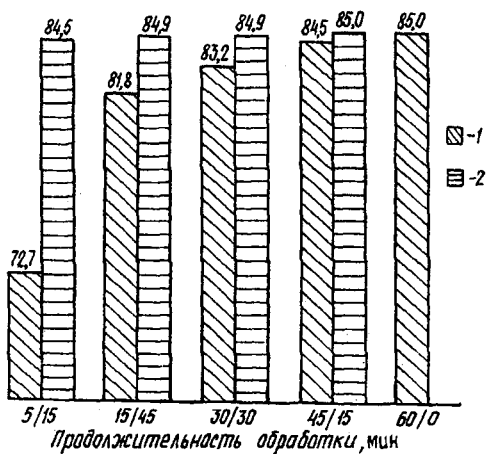


Рис. 6. Прирост белизны сульфитной целлюлозы в зависимости от продолжительности совместной обработки пероксидом водорода и молекулярным кислородом под давлением и последующей добелики пероксидом водорода при атмосферном давлении с общей продолжительностью процесса 60 мин: 1 – избыточное давление, 2 – атмосферное давление

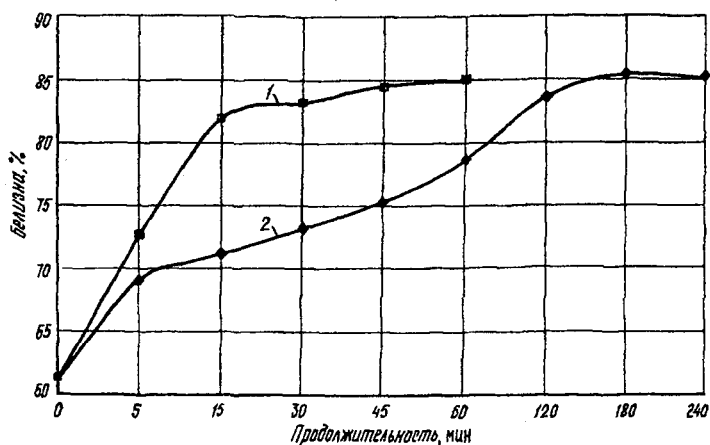


Рис. 7. Влияние продолжительности отбеливания на белизну сульфитной целлюлозы при использовании пероксида водорода Q-П и при совместном использовании пероксида и молекулярного кислорода Q-ПО (условия проведения процесса отбеливания на ступени Q: расход фиолента – 3 кг/т абс. сухой целлюлозы, температура – 50 °С, продолжительность – 60 мин, концентрация массы – 10 %; на ступени П (1): расход H_2O_2 – 25 кг/т абс. сухой целлюлозы, расход $NaOH$ – 20 кг/т, расход Na_2SiO_3 – 5 кг/т, расход $MgSO_4$ – 1 кг/т, температура – 90...95 °С, продолжительность – до 240 мин, концентрация массы – 10 %; на ступени ПО (2): продолжительность – до 60 мин (остальные условия совпадают со ступенью П))

На основании закона действия масс скорость химической реакции в текущий момент времени прямо пропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ. Однако скорость технологического процесса отбеливания целлюлозы определяется результирующей скоростью не только химических реакций, но и процессов доставки реагентов и вывода продуктов реакции за счет молекулярной и турбулентной диффузий. Следовательно, технологические приемы должны обеспечивать создание высокого градиента концентрации отбеливающих реагентов у реакционной поверхности целлюлозного волокна, что будет увеличивать скорость химических процессов в реакционной системе отбеливания целлюлозы. Естественно, необходимо учитывать и другие известные факторы [6], оказывающие влияние на реакционную систему (например pH, температура процесса, уровень содержания металлов переменной валентности и т. д.).

Для увеличения скорости отбеливания в кинетической области (химические реакции) необходимо обеспечить повышение температуры проведения процесса с 70 ... 80 до 95 ... 110 °С.

В зависимости от способа доставки реагента к реакционной поверхности технологические решения строятся на применении массы средней или высокой концентрации.

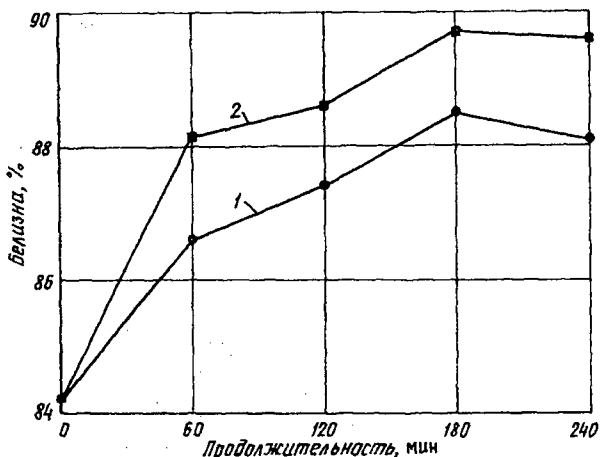
Псевдооживление целлюлозной массы средней концентрации, создаваемое в современных динамических смесителях, разрушает сетку волокон и, тем самым, создает условия для повышения концентрации отбеливающего реагента в слое жидкой фазы, прилегающем ко всей поверхности целлюлозного волокна. Однако такое повышение концентрации отбеливающего реагента будет ограничено его средней концентрацией в данной реакционной системе отбеливания целлюлозы. Следует подчеркнуть, что после завершения процесса перемешивания (в динамическом смесителе целлюлоза в зоне смешения находится 0,05 с) при дальнейшей выдержке целлюлозной суспензии с реагентом процесс массопереноса вновь перейдет в область внешней диффузии. Поэтому помимо интенсивного перемешивания при использовании целлюлозной суспензии средней концентрации с целью улучшения в реакционной системе условий для диффузии пероксида водорода к поверхности волокна необходимо применять также избыточное внешнее давление, способствующее сокращению объема пор и капилляров (пустот) как в целлюлозной суспензии, так и в самих волокнах.

Одним из возможных путей интенсификации массообмена внутри волокна может являться деформация самого волокна [5], которая приводила бы к изменению параметров его капиллярно-пористой структуры и, как следствие, к относительному движению раствора реагента, содержащегося в нем. Такую деформацию за счет механических методов можно осуществить путем воздействия твердых поверхностей на частицы волокнистой массы, в которых волокна находятся в контакте друг с другом, т. е. при высокой концентрации целлюлозной суспензии.

Перемешивание при высокой концентрации осуществляется путем создания условий, при которых суспензия подвергается деформациям сжатия и сдвига. При этом происходит разрушение волокнистой структуры суспензии и ее последующее пластическое течение, значение напряжения может быть достаточно большим, чтобы вызывать деформацию самих волокон. В этом случае основную роль будет играть сдвиговая деформация, характеризующаяся градиентом относительной скорости смещения слоев суспензии. Касательные напряжения, возникающие в этих слоях, при достаточной величине напряжений и будут обуславливать деформацию волокон. Это создает условия для практически мгновенной доставки реагентов к внутренним структурным элементам волокон и поддержания высокой концентрации реагентов у реакционной поверхности.

Подобные условия создаются [3], например, при продавливании суспензии через узкие отверстия или протирании ее между твердыми поверхностями.

Рис. 8. Изменение белизны сульфитной целлюлозы из хвойных пород древесины в процессе отбели (продолжительность 240 мин) пероксидом водорода на ступени Π_2 при концентрации массы 10 (кривая 1) и 30 % (2)



В соответствии с приведенными выше рассуждениями рассмотрим технологические решения отбели сульфитной целлюлозы с использованием целлюлозных масс средней (8 ... 18 %) и высокой (20 ... 40 %) концентраций.

На рис. 8 представлено сравнение показателей белизны целлюлозы, полученной в результате отбели по схеме МХО-Q- Π_1 - Π_2 , где на ступени отбели пероксидом водорода (Π_2) использована масса концентрацией 10 и 30 %. Смещение массы высокой концентрации с химикатами осуществляли в специально разработанном шнек-прессе. На рис. 9 представлена диаграмма изменения показателя белизны и массовой доли смол и жиров по ступеням отбели TCF сульфитной целлюлозы из хвойных пород древесины, откуда видно, что разработанные технологические решения позволяют в два и более раз снизить содержание смол и жиров на ступени МХО, а в белом полуфабрикате обеспечить их содержание на уровне 0,2 ... 0,4 %. Показатель белизны целлюлозы после первой ступени отбели сульфитной целлюлозы пероксидом водорода составляет 82 ... 85 %, а после второй – 86 ... 89 %.

Результаты исследований показали, что отбели сульфитной целлюлозы по схеме TCF может проводится в три ступени (включая ступень обработки хелатирующим реагентом). Как следует из рис. 10, уровень белизны полубеленой целлюлозы

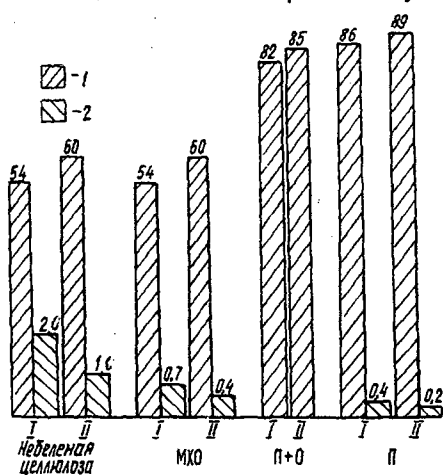


Рис. 9. Изменение белизны и массовой доли смол и жиров по ступеням отбели TCF образцов (I и II) сульфитной целлюлозы из хвойных пород древесины: 1 – белизна, %; 2 – массовая доля смол и жиров, %

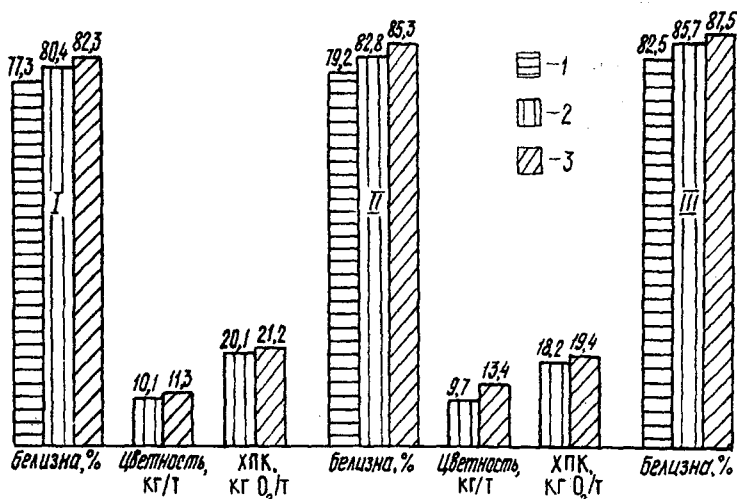


Рис. 10. Изменение белизны сульфитной целлюлозы и загрязненности фильтратов (цветность, ХПК) после отбелки пероксидом водорода трех образцов (I – III) полубеленой целлюлозы с различным начальным уровнем белизны (77,3; 79,2; 82,5 %) и концентрацией массы при отбелке: 1 – исходный образец; 2, 3 – образцы, обработанные при концентрации массы 10 и 25 %

оказывает решающее влияние на белизну готового полуфабриката независимо от концентрации массы (10 или 25 %) на ступени отбелки пероксидом водорода. Следовательно, снижение жесткости и повышение белизны на ступени делигнификации является неременным условием успешной отбелки сульфитной целлюлозы по схемам TCF.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. № 258849, СССР. Автоматический регулятор концентрации целлюлозной, древесной и бумажной массы / И.А. Христюк, В.П. Петров, К.И. Образцов // Открытия. Изобрет. – 1970. – № 1.
2. Аппарат двухшнековый АТ – эффективное средство обессмоливания сульфитной целлюлозы / А.А. Вдовин, Т.И. Петриченко, А.М. Кряжев и др. // Сб. информ. сообщений V Международной конф. ПАП-ФОР-98, 16–17 ноября 1998 г. – С.–Петербург, 1998. – С. 22–23.
3. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1971. – 364 с.
4. Интенсификация процессов производства белых полуфабрикатов / А.М. Кряжев, А.И. Глазунов, Л.И. Столярова и др. // Бум. пром-сть. – 1990. – № 11. – С. 23–24.
5. Кряжев А.М. Физические и химические аспекты механохимической обработки целлюлозы – основа интенсификации технологических процессов // Сб. пленарных докладов V Междунар. конф. ПАП-ФОР-98, 16–17 ноября 1998 г. – С.–Петербург, 1998. – С. 189–198.

6. *Кряжев А.М., Шпаков Ф.В., Мусинский С.В.* Схемы отбелики сульфитной целлюлозы для бумаги // *Целлюлоза. Бумага. Картон.* – 1998. – № 7–8. – С. 34–38.
7. *Непенин Ю.Н.* Технология целлюлозы: В 3 т. – М.: Экология, 1994. – Т. 3. – 590 с.
8. Основные направления совершенствования технологии производства беленых полуфабрикатов в России на пороге XXI века / *Ф.В. Шпаков, В.Ф. Неволин, А.М. Кряжев, А.А. Вдовин* // *Сб. пленарных докл. V Междунар. конф. ПАП-ФОР-98, 16–17 ноября 1998 г.* – С.-Петербург, 1998. – С. 74–84.
9. Отбелика сульфитной вискозной целлюлозы ECF и TCF без ступени кислородно-щелочной отбелики / *А.М. Кряжев, Ф.В. Шпаков, А.И. Глазунов и др.* // *Целлюлоза. Бумага. Картон.* – 1996. – № 5–6. – С. 12–15.
10. Удаление металлов переменной валентности из целлюлозы в схемах отбелики ECF и TCF. Часть 1. Исследование влияния параметров процесса «ступени Q» на степень удаления металлов переменной валентности / *А.М. Кряжев, Л.К. Звездина, Ф.В. Шпаков и др.* // *Целлюлоза. Бумага. Картон.* – 1996. – № 11–12. – С. 12–15.
11. Удаление металлов переменной валентности из целлюлозы в схемах отбелики ECF и TCF. Часть 2. Определение уровня содержания металлов переменной валентности в целлюлозе, не оказывающего влияния на процесс отбелики пероксидом водорода и озоном / *А.М. Кряжев, Л.К. Звездина, О.Л. Зарудская и др.* // *Целлюлоза. Бумага. Картон.* – 1997. – № 1–2. – С. 20–22.
12. Удаление металлов переменной валентности из целлюлозы в схемах отбелики ECF и TCF. Часть 3. Испытания нового отечественного композиционного препарата для удаления из целлюлозы металлов переменной валентности / *Н.Е. Ковалева, А.В. Аввакумова, А.М. Кряжев и др.* // *Целлюлоза. Бумага. Картон.* – 1997. – № 5–6. – С. 12–13.
13. *Хадебров С., Линдгвист Б., Сондел К.* Опыт работы сульфитного завода «Domsjö» с технологией отбелики TCF и замкнутым водооборотом // *Целлюлоза. Бумага. Картон.* – 1997. – № 5–6. – С. 14–16.

АО ВНИИБ

Поступила 04.04.2000 г.

*A.M. Kryazhev, F.V. Shpakov, L.K. Zvezdina, O.L. Zarudskaya,
A.I. Glazunov, A.V. Avvakumova*

Research and Technical Solutions in Bleaching Sulphite Pulp for Paper

Modern operating methods are viewed in the bleaching sequence for sulphite pulp (TCF) treatment, among them, mechanical-and-chemical tar extraction, delignification treatment with molecular oxygen and hydrogen peroxide, bleaching with hydrogen peroxide at high mass concentration, providing high values of the bleached semifinished product quality and allowing reduction of contaminants discharge from the bleaching device on the treating facility outside the operating area.

УДК 676.16.024.4

**Ю.А. Тихонов, О.А. Терентьев, В.С. Куров, А.Н. Кириллов,
А.А. Гаузе, А.Г. Андреев, Ю.Г. Якимов, С.А. Рыбаков**

Куров Виктор Сергеевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, академик РАЕН. Имеет около 100 научных трудов в области гидродинамики и реологии водно-волоконистых суспензий.



Терентьев Отто Алексеевич родился в 1934 г., окончил в 1958 г. Ленинградский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, ректор С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, академик МИА, РАЕН, Академии высшей школы. Имеет 450 научных трудов в области гидродинамики и реологии водно-волоконистых суспензий.

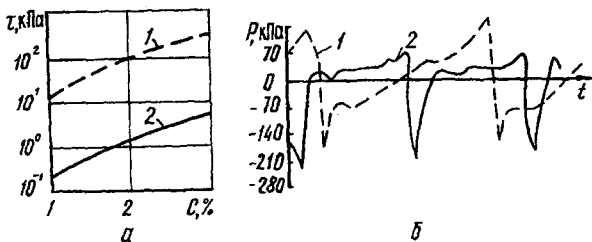


НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ РОТОРА СОРТИРОВОК С ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ ЛОПАСТЯМИ

Приведены результаты промышленных испытаний новой конструкции ротора сортировок с гидродинамическими лопастями, позволяющей использовать их преимущества в расширенном диапазоне концентраций при сортировании смешанной макулатурной массы.

Широко известен факт, что сортировки с гидродинамическими лопастями, по сравнению с другими типами сортировок, обеспечивают наиболее высокое качество сортирования массы. Благодаря хорошо обтекаемой форме гидродинамических лопастей возникают мощные отсасывающие импульсы, хорошо очищающие сито при сопутствующих минимальных вдавливающих и сдвиговых импульсах, которые отрицательно влияют на эффективность сортирования, вталкивания, деформируя и частично разрушая отделяемые включения, попавшие между очистным элементом ротора и ситом. Однако обтекаемая форма гидродинамических лопастей не способствует турбулизации потока, лопасть быстро теряет способность эффективно работать при повышении концентрации массы и разбивать более плотную сетку волокон вблизи поверхности ситового барабана. Поэтому при повышении концентрации массы лопасти заменяют на элементы с большим лобовым сопротивлением (бобышки, дельта-лопасти, ступенчатые и эксцентриковые роторы, которые вращаются с более высокими скоростями и эффективно разрушают густую сетку волокон; однако они создают повышенные вдавливающие и сдвиговые усилия между собой и ситом, что снижает

Рис. 1. Увеличение сдвиговых τ (а) и вдавливающих P (б) усилий, развиваемых ступенчатым ротором (1) и гидродинамической лопастью (2) (C – концентрация массы)



эффективность сортирования. Например, сдвиговые усилия на сите ступенчатого ротора, согласно [3], возрастают примерно в 100 раз по сравнению с усилиями, развиваемыми гидродинамической лопастью, а вдавливающие усилия [2] – в 2 раза, но при меньших значениях отсасывающих усилий (рис. 1).

Для сохранения или даже увеличения высокой эффективности сортирования, присущей гидродинамическим лопастям, с одновременным расширением рабочего диапазона концентраций нами предложена новая конструкция узлоловителя с полым ротором, изображенная на рис. 2.

В новой конструкции узлоловителя масса поступает через входной патрубок в полость ротора и распределяется по разгонным трубам. Вытекающая из разгонных патрубков с большой скоростью, струи массы наталкиваются на тыльную сторону лопастей и растекаются в противоположных направлениях, образуя турбулентные струи перед лопастями и за ними.

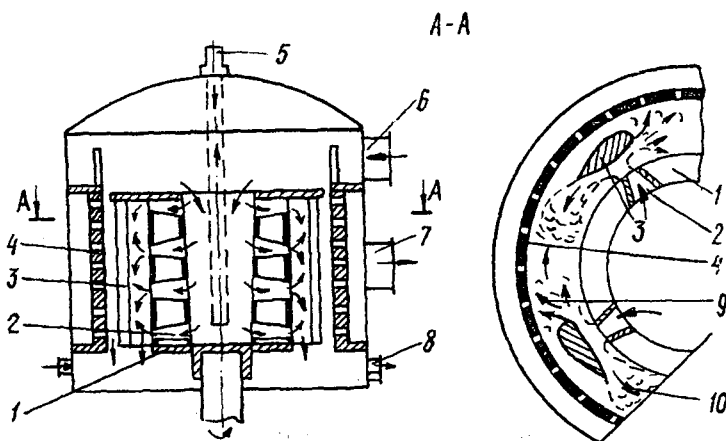


Рис. 2. Конструкция узлоловителя с полым ротором: 1 – полый ротор; 2 – разгонные патрубки; 3 – лопасти; 4 – ситовый барабан; 5 – труба для разбавления массы в нижней части сортировки или удаления легких включений; 6 – входной патрубок; 7 – выходной патрубок; 8 – патрубок отходов сортирования; 9 – турбулентная струя перед лопастью; 10 – турбулентный хвост за лопастью

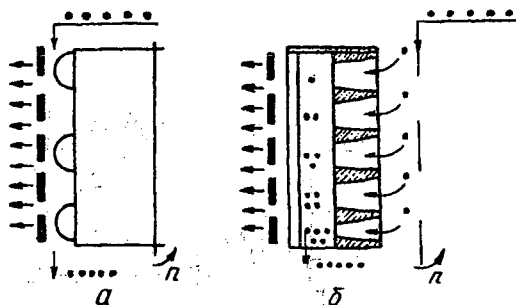
Турбулентные струи, движущиеся перед лобовой частью лопастей, размывают образовавшийся на поверхности сита осадок, освобождая из него сортируемые включения и отрывая их от поверхности сита, что снижает лобовой вдавливающий импульс.

Турбулентные струи, движущиеся в сторону, противоположную движению лопастей, образуют турбулентные хвосты за ними, препятствующие образованию сетки волокон, что очень важно для прохождения волокон через сито. (Ранее нами [4] экспериментально изучена высокоинтенсивная турбулизация массы концентрацией до 3 % при ударе струй о преграду в напорных ящиках повышенной концентрации и показана эффективность этого метода для диспергации массы). Таким образом, узлоловитель получает возможность более эффективно работать в расширенном диапазоне концентрации массы без прироста вдавливающих и сдвиговых усилий.

Труба, вставленная в крышку сортировки с возможностью вертикального перемещения, может служить как для разбавления отходов в нижней части сортировки, так и для удаления легких включений, концентрирующихся вблизи оси вращающейся части ротора.

На рис. 3 приведены схемы течения массы в обычной сортировке и сортировке с полым ротором. В обычной сортировке весь поступающий поток включений подвергается воздействию элементов ротора на всем пути движения вдоль оси ситового барабана. При использовании полого ротора включения с потоком массы поступают к ситу порциями и вероятность их попадания между ситом и лопастями ротора снижается, что повышает эффективность сортирования.

Рис. 3. Схема движения включений между ситом и ротором обычной сортировки (а) и сортировки с полым ротором (б)



Промышленная модель ротора была установлена на предприятии АОЗТ «Завод Картонтоль» для сортирования макулатурной массы МС6+МС7+МС11, содержащей сульфатную небеленую целлюлозу с включениями, состоящими из кусочков проклеенного картона, скотча, пенопласта и полиэтилена. Она прошла успешные испытания в качестве сортировки для грубого сортирования на сите с отверстиями диаметром 2,8 мм [1]. В дальнейшем было решено продолжить испытания на более мелком сите толщиной 2 мм из меди. Изготовленный ситовый барабан с упрощенной зенкованной формой отверстий диаметром 1,4 мм (коэффициент перфорации 0,08) был установлен на модели с окружной скоростью лопастей 11,3 м/с, соответствующей типичной скорости лопастей узлоловителя.

Параметр	Значение параметра			
	Вход Испытания	Выход	Отходы	Разбавляющая вода
Концентрация, %	2,10	1,8	4,3	
Расход, м ³ /ч	58,4	62,0	2,4	6,3
Давление, атм	0,65	0,25	0,90	0,95

Примечание: Процент отходов рассчитывали по формуле

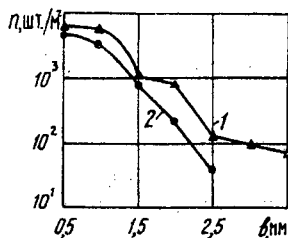
$$RR = \left(\frac{C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}} \frac{Q_{\text{ВЫХ}}}{Q_{\text{ВХ}}} \right) \cdot 100 = 8,5\% \quad (C - \text{концентрация массы, } Q - \text{расход});$$
 потребляемая мощность 18,5 кВт.

Исследования проводили при концентрации макулатурной массы на входе 1,3 и 2,1 % (массу перед этим сортировали на сортировке с бобышками СНС-05).

При испытаниях массы с концентрацией 1,3 % расход составил 200 м³/час, что соответствовало производительности по волокну 62,5 т/сут. Перепад давления – 0,35 атм.

Отсортированную на модели массу с концентрацией 2,1 % после разбавления оборотной водой направляли на машину для изготовления рабочего картона со средней массой 1 м² 210 г. Производительность машины 28,5 т/сут.

Рис. 4. Сорность картона, полученного из массы, отсортированной на СНС-05 (1) и модели с подъем ротором (2) (b – размер включений)



Результаты испытаний модели (при концентрации массы 2,1 %) приведены в таблице, сравнение сорности картона из массы, отсортированной на машине СНС-05 и опытной модели, – на рис. 4.

Таким образом, предлагаемая конструкция сортировки значительно эффективнее известной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эффективности сортирования путем расширения возможностей сортировок с лопастями / Ю.А. Тихонов, О.А. Терентьев, М.Н. Исачев и др. Целлюлоза, бумага, картон. – 1998. – № 7–8. – С. 41–43.
2. Chi J. Yu. et al. Fundamental study of screening hudsonalics // Tappi Journal. – 1994. – № 9. – P. 125–131.

3. Screening – a tool for stiekies removal / P. Schweiss, R. Rienecker, P. Ressondek, S. Schabel Dr. // Together, paper technology journal Voth Sulzer. – 1997. – № 4. – P. 22–29.

4. *Tichonov Yu. A., Terentiev O. A., Kurov V. S.* Rheologische und hydrodynamische Verhalthisse beim Dispergieren von Faserstoffsuspensionen // Zellstoff& Papier. – 1991. – № 2. – S. 67–71.

С.-Петербургский государственный технологический
университет растительных полимеров
Центральный научно-исследовательский институт
бумагоделательного машиностроения
АОЗТ «Завод Картонтоль»
Поступила 23.03.2000 г.

*Y.A.Tikhonov, O.A.Terentiev, V.S.Kurov, A.N.Kirillov, A.A.Gause,
A.G.Andreev, Yu.G.Yukimov, S.A.Rybakov*

New Construction of Grading Rotor with Hydrodynamic Blades

The results of industrial trials are given for a new design of the sorting rotor with hydrodynamic blades allowing to use their advantages in the extended range of concentrations of mixed waste paper mass.

УДК 676.1.022.1

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

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии при АГТУ, член-корреспондент РИА и РАИИ. Имеет более 200 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.



ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОТЫ НА ПОВЕДЕНИЕ ЛИГНИНА В УСЛОВИЯХ АЗОТНОКИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНЫХ ВАРОК ДРЕВЕСИНЫ В ЭТАНОЛЬНО-ВОДНОЙ СРЕДЕ

Показано, что использование HNO_3 с низкой концентрацией (0,4...1,2 моль/л) приводит к торможению процесса делигнификации и образованию нерастворимого лигнина. Необходимая степень делигнификации достигается в этанольно-водной среде при увеличении концентрации кислоты и продолжительности обработки.

Важную роль при получении целлюлозного материала играет процесс растворения лигнина, одного из важнейших компонентов древесины. Обработка древесины растворами азотной кислоты способствует не только образованию активных групп в молекулах лигнина, но и разрыву связей в его структурных единицах, давая растворимые модификации лигнина.

Ранее нами были проведены исследования делигнификации древесины в водной и этанольно-водной средах и установлено влияние вида гидроксида и концентрации этанола на выход целлюлозной массы [2], также было изучено изменение диоксанлигнина при азотнокислотно-щелочной ($\text{HNO}_3\text{-NaOH}$) обработке в этанольно-водной и водной средах [3].

В задачу данной работы входило установление влияния концентрации азотной кислоты в этанольно-водной среде и присутствия этанола на одной из стадий на растворение лигнина и изменение его свойств при двухстадийной $\text{HNO}_3\text{-NaOH}$ - делигнификации древесины.

Объект исследования – еловые и березовые опилки. Варки проведены по методике [2], исследования лигнинов – [1]. Концентрация азотной кислоты на I стадии обработки изменялась в пределах 29,0 ... 189,0 г/л (0,5 ... 3,0 моль/л), концентрация гидроксида натрия на II стадии составляла 5,0 %. Продолжительность обработки как на I, так и на II стадии при повышенной (90 ... 95 °С) температуре – 1,0 ч, при пропитке в течение 0,5 ч и комнатной температуре в некоторых случаях продолжительность обработки древесины ели на I стадии увеличивали до 2,0 ч.

В водной среде концентрация азотной кислоты 82,5 ... 106,9 г/л была достаточна для получения целлюлозной массы с выходом 52,8 ... 53,7 % и содержанием остаточного лигнина 1,12 ... 1,84 % (от древесины) после двухстадийной обработки еловой древесины (табл. 1). Для достижения такой же степени делигнификации в этанольно-водной среде необходимо увеличить или концентрацию HNO_3 на I стадии до 189 г/л (3 моль/л), или продолжительность обработки до 2,0 ч при той же концентрации. При исходной концентрации HNO_3 (77,8 ... 104,0 г/л) в этанольно-водной среде (1:1) остаточное содержание нерастворимого лигнина составляло 10,82 ... 11,20 % при выходе целлюлозной массы 72,7 ... 74,2 %. В случае делигнификации березовых опилок в этанольно-водной среде для получения целлюлозной массы с выходом 56,4 ... 52,5 % и содержанием остаточного лигнина 1,18 ... 2,33 % достаточно было использовать HNO_3 концентрацией 73,3 ... 92,6 г/л.

В этанольно-водной среде повышение концентрации HNO_3 от 29 до 143 г/л на I стадии привело к увеличению количества растворимого лигнина от 3,6 до 11,5 % при варке как еловой, так и березовой древесины, в то же время при использовании водной среды количество растворившегося на I стадии лигнина изменялось в пределах 4,6 ... 5,5 %. На II стадии количество растворимого лигнина в водной среде увеличилось от 16,3 % (концентрация HNO_3 – 32,5 г/л) до 21,6 ... 22,0 % (концентрация 82,5 ... 106,9 г/л), в этанольно-водной среде оно составляло 2,4 ... 8,5 % при концентрации HNO_3 от 29,0 до 77,8 г/л. Дальнейший рост количества растворимого

Таблица 1

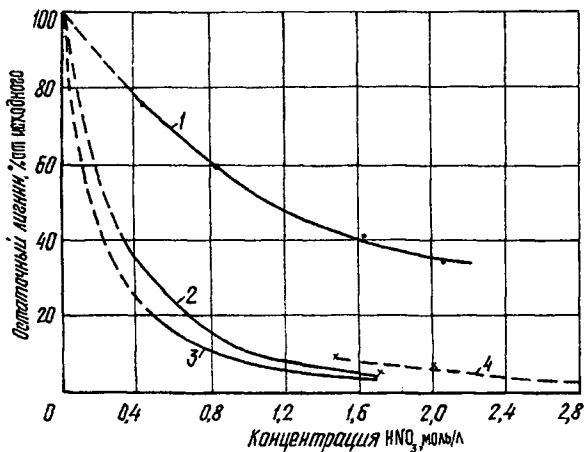
Влияние концентрации HNO_3 на растворение лигнина и выход целлюлозных масс при HNO_3 - NaOH -обработке древесины

Порода древесины, среда (соотношение спирт/вода), продолжительность I стадии	Концентрация HNO_3		Определено лигнина, % от древесины				Выход целлюлозной массы, %
	г/л (моль/л)	% от древесины	растворившегося			остаточного (по массе)	
			на I стадии	на II стадии	всего		
Ель; водная:							
1,0 ч	32,5(0,52)	16,2	4,67	16,35	21,22	6,78	59,33
«	52,0(0,83)	46,4	4,85	18,97	23,82	4,18	58,16
«	64,2(1,02)	57,3	5,52	19,92	25,44	2,56	54,93
«	82,5(1,31)	73,7	4,20	21,96	26,16	1,84	53,66
«	106,9(1,70)	95,4	5,21	21,61	26,88	1,12	52,78
2,0 ч	51,9(0,82)	46,4	5,09	19,27	24,36	3,64	54,64
Ель; этанольно-водная (1:1):							
1,0 ч	29,0(0,46)	25,9	3,62	2,38	6,00	22,00	83,57
«	53,8(0,85)	48,0	5,80	4,98	10,78	17,22	77,91
«	77,8(1,23)	69,5	8,30	8,50	16,80	11,20	74,20
«	104,0(1,65)	92,9	10,22	7,00	17,22	10,82	72,72
«	143,0(2,27)	127,7	11,50	7,90	19,40	8,63	68,62
1,7 ч	111,8(1,77)	99,8	-	11,02	23,48	3,52	60,50
Ель; этанольно-водная (2:3):							
1,0 ч	189,0(3,00)	168,8	8,25	17,20	26,53	1,47	54,64
2,0 ч	94,0(1,49)	83,9	8,94	16,41	25,35	2,65	56,10
«	110,0(1,75)	98,2	10,75	15,79	26,54	1,46	53,17
«	131,0(2,08)	117,0	9,07	16,50	25,57	2,49	57,40
«	180,0(2,86)	160,7	10,73	16,50	27,23	0,77	51,50
Береза; этанольно-водная (1:1):							
1,0 ч	29,3(0,46)	33,3	3,93	8,88	12,81	0,19	72,80
«	58,2(0,92)	66,1	7,82	10,59	18,41	3,59	59,53
«	73,3(1,16)	83,3	9,46	10,21	19,21	2,33	56,40
«	92,6(1,47)	105,3	9,98	10,84	20,82	1,18	52,49
«	109,5(1,74)	124,4	10,44	10,28	20,72	1,28	52,49

на II стадии лигнина наблюдалось только при увеличении продолжительности I стадии или концентрации HNO_3 до 189 г/л (табл. 1).

Результаты исследования делигнификации показали (рис. 1), что лигнин березы растворялся на 90 % после HNO_3 - NaOH -обработок в этанольно-водной среде при концентрации азотной кислоты 1,16 моль/л (что составляет 83,3 % лигнина древесины); лигнин ели в тех же условиях растворялся только на 62 %; в водной среде при той же концентрации кислоты он растворялся на 90 ... 93 %.

Рис. 1. Влияние концентрации HNO_3 на содержание остаточного лигнина, полученного HNO_3 - NaOH -обработкой древесины ели (1, 3, 4) и березы (2) в водной (3) и этанольно-водной (1, 2, 4) средах в течение 1 (1–4) и 2 ч (4) при соотношении этанол–вода 1 : 1 (1, 2, 4) и 2 : 3 (4)



Ранее [1] было показано, что после обработки елового диоксанлигнина в этанольно-водной среде (1:1) при низкой концентрации азотной кислоты (0,45 ... 1,20 моль/л) доля нерастворимого лигнина увеличивается до 36,0 ... 42,5 %, после обработки березового — до 32,0 %. Этот процесс сопровождается увеличением молекулярной массы растворимого лигнина по сравнению с исходным, что указывает на протекание реакций конденсации. Увеличение концентрации до 2,0 моль/л приводит к снижению количества нерастворимого лигнина.

В случае варок древесины ели доля остаточного нерастворимого лигнина после обработки в этанольно-водной среде (1:1) при вышеуказанных низких концентрациях изменилась от 78,0 ... 61,0 до 40,0 % (от исходного), и только при концентрации кислоты 1,25 ... 2,30 моль/л она снизилась до 50,0 ... 31,0 %. При использовании березовой древесины соответствующие показатели были более низкими: от 42,0 ... 16,3 % для древесины и 32,5 ... 18,5 % для диоксанлигнина при концентрации кислоты 0,45 ... 1,00 моль/л и соответственно 10,0 ... 5,0 и 4,0 ... 1,0 % при увеличении концентрации кислоты до 1,40 ... 1,70 моль/л. Уменьшение растворимости лигнина в водно-этанольной среде можно объяснить реакциями конденсации [1] и снижением подвижности делигнифицирующих агентов, а также снижением реакционной активности центров макромолекул лигнина в результате специфической и неспецифической их сольватации.

Для установления влияния этанола на II стадии были проведены сравнительные варки, которые на I стадии включали обработку опилок азотной кислотой только в водной или этанольно-водной средах (продолжительность 0,5 ч при температуре 20 °С, 1,0 ч при 90 ... 95 °С), а на II стадии — 5 %-м NaOH как в водной, так и этанольно-водной средах. При этом древесная масса, обработанная азотной кислотой на I стадии, подвергалась промывке и сушке.

Полученные результаты показали (табл. 2), что лигнин древесины, в равной степени активированный на I стадии (водная среда), растворяется в щелочной этанольно-водной среде хуже, чем в водной. Однако выход

Таблица 2

Влияние изменения среды II стадии при HNO_3 - NaOH -обработке древесины на растворение лигнина, выход целлюлозной массы и характеристику выделенного лигнина

Порода древесины; стадия; концентрация кислоты на I стадии, г/л; концентрация этанола, %	Растворилось лигнина, % от древесины	Выход целлюлозной массы, %	Остаточный лигнин в массе, % (% от древесины)	Содержание функциональных групп, %					Молекулярная масса		
				OCH_3	NO_2	COOH (в ед. OH)	C-O	OH_ϕ		C	H
Ель, I:											
94,0; 0,0	6,84	...	...(...)	-	-	-	-	-	-	-	-
110,0; 50,0	9,65	86,40	...(...)	8,2	2,0...2,7	6,80	6,73	1,67	58,50	4,2	18 070
Ель, II:											
94,0; 0,0	21,14	47,43	0,65(0,31)	-	-	-	-	-	-	-	-
94,0; 50,0	18,30	49,40	2,26(1,12)	-	-	-	-	-	-	-	-
110,0; 0,0	18,10	50,46	2,94(1,48)	7,8	0,18	6,40	4,68	2,14	56,30	4,61	4 770
110,0; 50,0	16,86	53,50	6,02(3,22)	8,9	0,25	5,72	4,94	1,72	59,86	6,2	13 280
Береза; I; 82,2; 50,0	8,88	74,47	...(...)	9,7	1,0...1,5	7,10	7,80	1,24	55,80	4,90	10 300
Береза; II:											
82,2; 0,0	12,95	44,31	0,97(0,42)	9,5	0,12	5,48	3,65	0,88	61,08	5,52	2 340
82,2; 50,0	12,05	46,15	1,98(0,89)	10,3	0,12	6,39	3,83	0,82	57,05	5,74	10 000

целлюлозной массы при использовании этанольно-водной среды на 2,0 % выше (49,4 %), чем после щелочной водной обработки (47,4 %). Доля остаточного лигнина при использовании на II стадии этанольно-водной среды выше по сравнению с водной (1,12 и 0,31 % в перерасчете на древесину).

На основании результатов делигнификации древесины ели и березы в этанольно-водной среде на I стадии и в водной и этанольно-водной средах на II стадии была получена целлюлозная масса с более высоким выходом (53,5 % для ели и 46,15 % для березы) и содержанием остаточного лигнина (3,22 % для ели и 0,89 % для березы), чем масса от варки в водной среде (выход 50,46 % для ели и 44,31 % для березы при содержании остаточного лигнина 2,48 и 0,42 %). Обработка древесины этанольно-водными растворами щелочи на II стадии после водной кислотной обработки на I стадии также дала увеличение выхода целлюлозы на 2 % (табл. 2).

Изменение функционального состава лигнина под действием HNO_3 , используемой на I стадии, представлено в табл. 3, из которой следует, что лигнин из щелоков после II стадии обработки березовой древесины характеризовался пониженным содержанием нитрогрупп (0,05 ... 0,62 %) по

Таблица 3

Влияние концентрации HNO_3 на содержание функциональных групп лигнина после HNO_3 - NaOH -обработки древесины

Порода древесины; концентрация этанола, %; концентрация кислоты, г/л (продолжительность I стадии)	Содержание функциональных групп, %				
	OCH_3	NO_2	COOH (в ед. OH)	C-O	OH_ϕ
Береза; 50,0:					
29,0	15,58/-	Следы/1,5	2,46/-	2,45/-	-
58,0	10,27/-	0,05/1,0	3,86/-	3,99/-	-
73,0	8,54/8,4	0,34/1,1	3,91/5,6	3,44/6,3	-
92,6	8,21/-	0,62/1,2	4,76/-	4,30/-	-
110,0	7,22/-	1,34/1,5	4,67/-	...	-
Ель; 0,0:					
32,7	8,88/-	0,01/1,4	3,72/-	...	1,08/0,8
51,9	7,67/-	0,04/2,6	4,57/-	3,90/-	1,25/0,8
64,6	7,32/-	0,28/1,9	4,93/-	2,62/-	1,38/1,1
82,5	6,98/-	1,06/2,8	4,92/-	4,87/-	0,97/0,9
104,0	6,67/-	1,41/2,5	3,81/-	3,92/-	1,06/0,6
Ель; 37,0; 180,0(2,0 ч)	7,81/6,8	1,84/2,6	4,20/8,2	3,76/-	1,13/0,9
Ель; 50,0:					
29,0	7,61/-	0,57/1,9	...	2,36/-	1,64/1,3
53,8	8,86/-	1,49/2,8	3,83/-	...	1,89/1,2
77,8	8,30/8,2	1,62/2,3	3,93/5,6	4,86/7,2	1,91/2,0
104,0	8,74/-	0,90/2,0	3,89/-	5,94/-	1,09/1,0
111,7(1,7 ч)	8,62/9,2	1,70/2,0	4,29/6,1	3,89/7,1	1,01/0,6
131,4(2,0 ч)	8,75/-	1,59/2,5	3,07/-	4,28/-	0,90/1,0
189,4(1,0 ч)	6,95/6,8	1,93/3,1	4,00/8,2	4,25/6,7	1,03/1,1

Примечание. В числителе приведены данные для II стадии обработки, в знаменателе – для I.

сравнению с лигнином из еловой древесины (0,57... 1,62 %) для концентрации азотной кислоты 29,0 ... 92,6 г/л. Только значительное повышение концентрации HNO_3 (189 г/л для еловой древесины и 110 г/л для березовой) привело к увеличению содержания NO_2 -групп соответственно до 2,00 и 1,34 %. Лигнин из щелоков после I стадии содержал больше NO_2 -групп (до 3,0 % для еловой и до 1,5 % для березовой древесины) по сравнению со II стадией.

Лигнин из древесины ели после обработки в водной среде содержал меньше NO_2 - и OCH_3 -групп, чем обработанный в этанольно-водной. При использовании водной среды лигнин из еловой древесины на II стадии характеризовался заметным снижением количества OCH_3 -групп (до 6,67 ... 7,30 % при концентрации кислоты 64,6 ... 107,0 г/л). В этанольно-водной среде, этот показатель колебался в пределах 8,30 ... 8,74 %, снижаясь до

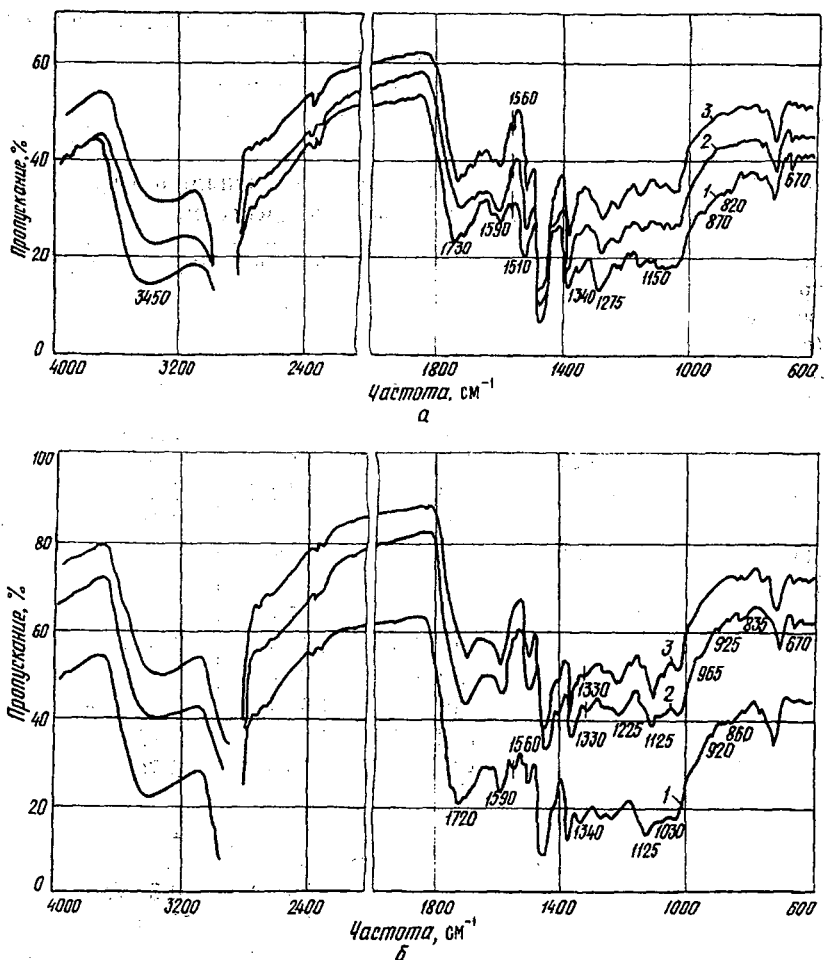


Рис. 2. ИК-спектры лигнинов, полученных HNO_3 - NaOH -обработкой древесины ели (а) и березы (б) после I (1) и II (2, 3) стадий в водной (3) и этанольно-водной (1:1) средах (1, 2) (шкала неравномерная)

6,95 % только при повышении концентрации кислоты до 189 г/л (3,0 моль/л). Увеличение продолжительности обработки кислотой до 2,0 ч в этанольно-водной среде не оказывало заметного влияния на характеристику образующихся лигнинов.

При сравнении состава лигнинов, полученных на I стадии в этанольно-водной среде и на II стадии в этанольно-водной и водной средах (см. табл. 2), отмечены большее количество нитро- и карбонильных групп и более высокие молекулярные массы для лигнинов, выделенных из азотно-кислотных растворов (после I стадии), по сравнению со щелочными (после II стадии). Обработка в водной среде на II стадии способствовала снижению молекулярных масс для лигнинов как из еловой, так и из березовой древесины (в 2,8–4,0 раза).

На ИК-спектрах лигнинов после I стадии, особенно из древесины ели, отмечен пик при 1340 см^{-1} , характеризующий ароматические NO_2 -группы [4], который отсутствовал на спектре елового диоксанлигнина [1] (рис. 2, а). В то же время для лигнина из древесины березы (у которого до обработки HNO_3 имелся пик при 1330 см^{-1}) появление пика поглощения при 1340 см^{-1} проследить труднее. Однако для образца после I стадии обработки рядом с пиком при 1330 см^{-1} появляется пик при 1340 см^{-1} и хорошо заметный пик при 1560 см^{-1} , ответственный за NO_2 -группу (рис. 2, б), присутствие которой подтверждается данными полярографического анализа (рис. 3). Значительное увеличение интенсивности полос поглощения при $1705 \dots 1730$ и $1675 \dots 1680\text{ см}^{-1}$, отражающих наличие карбонильных и

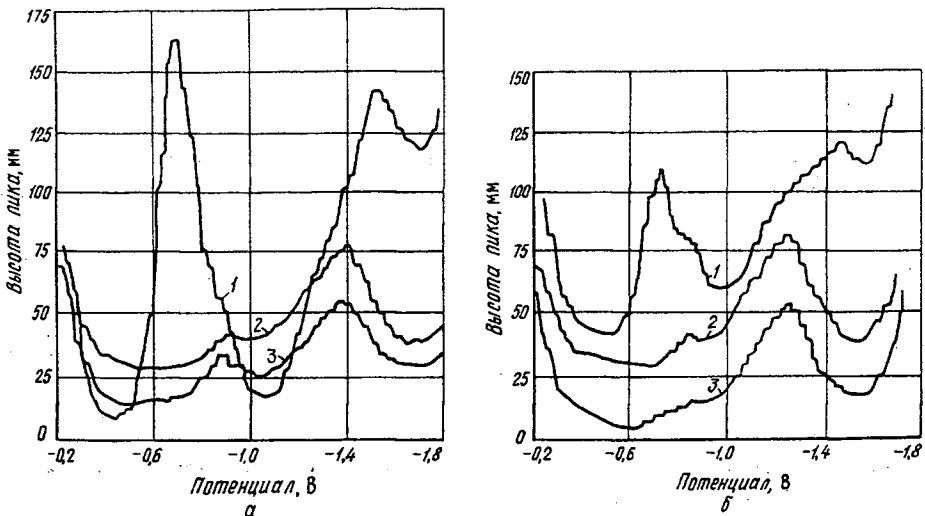


Рис. 3. Полярограммы лигнинов, полученных HNO_3 - NaOH -обработкой древесины ели (а) и березы (б) при концентрации лигнина 0,20...0,22 мг/л на фоне 0,05 М гидроксида лития в водной (2) и водно-этанольной (1:1) средах (1, 3)

карбокисльных групп, подтверждается данными химического анализа (см. табл. 2).

Таким образом, использование этанольно-водной среды при азотно-кислотно-щелочных обработках древесины приводит к торможению процесса делигнификации: несмотря на увеличение количества растворимого в этанольно-водной среде при азотнокислотной обработке лигнина на I стадии возникает необходимость увеличения концентрации кислоты и продолжительности I стадии для достижения необходимой степени делигнификации, особенно в случае еловой древесины. Процесс делигнификации, включающий HNO_3 -NaOH-обработку древесины сопровождается окислением (повышение содержания СО- и СООН-групп), нитрованием и деметилированием лигнина как в водной, так и в этанольно-водной средах. Использование водной щелочной среды на II стадии делигнификации древесины приводит к дополнительной деструкции лигнина, что сопровождается снижением его молекулярной массы. Это характерно и для еловой, и для березовой древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунова О.Ф., Вербицкая С.А., Боголицын К.Г. Влияние концентрации азотной кислоты на превращения диоксанлигнина // Лесн. журн. – 1998. – № 2–3. – С. 63–73. – (Изв. высш. учебн. заведений).
2. Горбунова О.Ф., Вербицкая С.А., Боголицын К.Г. Влияние условий азотнокислотно-щелочной обработки на поведение лигнина при делигнификации древесины // Лесн. журн. – 1996. – № 1–2. – С. 41–51. – (Изв. высш. учебн. заведений).
3. Горбунова О.Ф., Вербицкая С.А., Боголицын К.Г. Изменение диоксанлигнина в условиях азотнокислотно-щелочной делигнификации в водной и этанольно-водной средах // Лесн. журн. – 1996. – № 1–2. – С. 178–186. – (Изв. высш. учебн. заведений).
4. Исследования окисления фенолкарбоновых кислот и лигнина азотной кислотой / В.Н. Немировский, И.В. Соколова, А.Е. Егоров, М.И. Чудаков // Химия древесины. – 1971. – № 9. – С. 99–107.
5. Соколов О.М. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гель-фильтрации: Учеб. пособие. – Л.: ЛТА, 1978. – 74 с.

Архангельский государственный технический университет
Поступила 28.01.99

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

Influence of Acid Strength on Lignin Behavior at Nitrate-Alkaline Cooking of Wood in Ethanol-aqueous Medium

The use of nitric acid with low strength is demonstrated to result in the inhibition of the delignification process and the formation of the insoluble lignin. The necessary delignification degree is achieved in the ethanol-aqueous medium when the acid strength and the treatment duration are increased.

УДК 628.335

И.В. Вольф, А.Н. Николаев, Е.В. Руген, И.В. Нилова

Вольф Игорь Викторович родился в 1924 г., окончил в 1949 г. Ленинградский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского государственного технического университета растительных полимеров, чл.-кор. РАЕН. Имеет более 160 печатных трудов в области очистки природных и сточных вод методами коагулирования, адсорбции, ионного обмена.



Николаев Алексей Николаевич родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 60 научных трудов в области разработки эффективных схем очистки сточных вод ЦБП с использованием биологических и физико-химических методов.



Руген Елена Владимировна родилась в 1971 г., окончила в 1993 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, аспирант кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет 8 печатных трудов в области химико-механической очистки сточных вод ЦБП.



Нилова Ирина Валерьевна родилась в 1967 г., окончила в 1990 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, инженер кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет 5 печатных трудов в области очистки сточных вод ЦБП с использованием биологических и физико-химических методов.



ПЕРЕРАБОТКА ОСАДКОВ НА АДСОРБЕНТЫ ДЛЯ АДСОРБЦИОННО-КОАГУЛЯЦИОННО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦБП

Разработан режим сульфирования алюминийсодержащих осадков, обеспечивающий получение адсорбентов и регенерированных коагулянтов для адсорбционно-коагуляционно-биологической очистки сточных вод.

При очистке сточных вод ЦБП используют биологический, коагуляционный и адсорбционный методы. Сочетание и совмещение перечислен-

ных методов (адсорбционно-коагуляционно-биологическая очистка) позволяет не только расширить спектр удаляемых примесей, но и получить в ряде случаев синергетические эффекты. Так, с помощью адсорбции можно извлечь из воды примеси, препятствующие коагуляции или ингибирующие биокисление, и тем самым резко повысить эффективность очистки сточных вод.

С эколого-экономической точки зрения, наиболее целесообразно такое совмещение перечисленных методов, при котором образующиеся осадки перерабатываются на адсорбенты и коагулянты, возвращаемые в процесс очистки сточных вод [2]. Для переработки осадков и шламов на адсорбенты и коагулянты нами совместно с Институтом катализа РАН (г. Новосибирск) и СП «Григишкес» (Литва) разработан и доведен до стадии практического внедрения метод термокаталитической и реагентной обработки [3]. Однако его распространение сдерживается высокой стоимостью термокаталитических реакторов и используемых в них катализаторов.

Настоящие исследования направлены на разработку альтернативного метода одностадийной переработки осадков и шламов на адсорбенты и коагулянты, пригодные для использования в системах адсорбционно-коагуляционно-биологической очистки.

С целью выявить требования к адсорбентам и коагулянтам, предназначенным для подобных систем, были выполнены экспериментальные исследования различных схем, сочетающих и совмещающих адсорбционную, коагуляционную и биологическую очистку щелочесодержащих сточных вод. Стоки сульфат-целлюлозного производства (СФА) моделировали разбавлением черного сульфатного щелока Сегежского ЦБК, а стоки сульфит-целлюлозного производства (СФИ) – разбавлением сульфитного щелока Сясьского ЦБК.

Таблица 1

Результаты экспериментального сравнения эффективности схем К-Б и Б-К

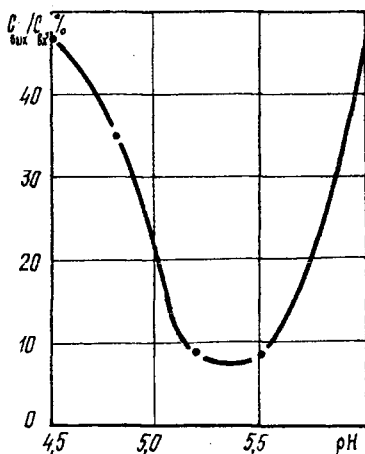
Номер серии	Сточная вода	БПК ₅ сточной воды, мг/л	Схема	Режим очистки		БПК ₅ очищенной сточной воды, мг О ₂ /л	ЭО по БПК ₅ , %
				Доза коагулянта по Al ₂ O ₃ , мг/л	Нагрузка по БПК ₅ на активный ил, мг БПК ₅ /г		
1	СФА	300	Б-К	30	800	8,0	97,3
	СФА							300	К-Б	45	800	37,0	87,7
2	СФА	300	Б-К	30	400	3,0	99,0
	СФА						
3	СФА	300	Б-К	30	100	2,5	99,2
	СФА							300	К-Б	45	100	17,5	94,2
4	СФИ	360	Б-К	100	350	10,0	97,2
5	СФИ	360	Б-К	100	300	8,0	97,8
6	СФИ	360	Б-К	100	200	5,5	98,5
	СФИ							360	К-Б	150	200	6,0	98,3
7	СФИ	360	К-Б	150	150	5,5	98,5

Совмещение коагуляционной и биологической очистки. Опыты проводили сериями, в каждой из которых сточная вода проходила очистку по двум параллельно включенным схемам: коагулирование–биологическая очистка (схема К-Б) и биологическая очистка–коагулирование (схема Б-К). На ступени коагуляционной очистки для стоков СФА применяли сульфат алюминия, для стоков СФИ – гидроксихлорид алюминия. Дозы коагулянтов и pH отвечали экспериментально найденным оптимальным величинам. Биологическую очистку проводили в аэротенках–вытеснителях, активный ил адаптировали к новым условиям при изменении режима процесса.

Как видно из полученных данных (табл. 1), для стоков СФИ схемы Б-К и К-Б дают практически одинаковый эффект очистки (ЭО) по БПК₅, но для сточных вод СФА схема Б-К значительно эффективнее.

Было установлено, что низкая эффективность очистки стоков СФА по схеме К-Б связана с ингибированием микроорганизмов алюминием, поступающим в аэротенк со ступени коагуляционной очистки. Согласно найденной экспериментально зависимости (рис. 1), даже в области оптималь-

Рис. 1. Зависимость концентрации C алюминия от pH сточной воды сульфатцеллюлозного производства при коагуляционной очистке ($C_{\text{вых}}$ и $C_{\text{вх}}$ – концентрация алюминия на выходе (в очищенной сточной воде) и входе коагуляционной очистки (доза сульфата по алюминию), г Al/м³).



ных pH (5,2 ... 5,5) процесса коагуляции общее содержание алюминия (ионов и продуктов гидролиза солей алюминия) в очищенной сточной воде составляло около 10 % от исходного. Соответственно при дозе сульфата алюминия 45 мг/л по Al_2O_3 (24 мг Al/л) на вход аэротенка в схеме К-Б поступала сточная вода с концентрацией общего алюминия более 2 мг/л. Благодаря адсорбции на активном иле и его рециркуляции, содержание алюминия в аэротенке составляло около 10 мг/л, что, согласно полученной для стоков СФА зависимости (рис. 2), снижало скорость биоокисления примерно в 2 раза. Отсутствие рассмотренной закономерности для сточных вод СФИ объясняет рис. 3, из которого видно, что ингибирующее действие алюминия проявляется только при дозе в аэротенке свыше 50 мг/л.

Совмещение коагуляционной и адсорбционной очистки. Оно позволяет существенно снизить содержание катионов металлов, в частности алюминия, в очищенной сточной воде. Эксперименты показали,

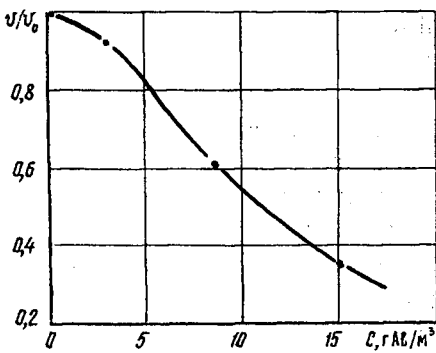


Рис. 2. Зависимость скорости потребления кислорода от концентрации алюминия в аэротенке при биологической очистке сточных вод сульфат-целлюлозного производства и pH 7,0...7,5 (v и v_0 скорость потребления кислорода активным илом в присутствии алюминия и без него)

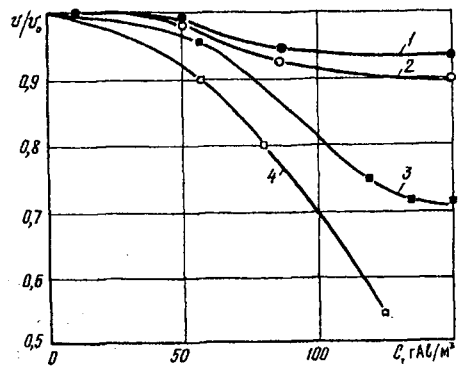


Рис. 3. Зависимость скорости потребления кислорода (активности ила) от концентрации алюминия в аэротенке в процессе биологической очистки сточных вод сульфит-целлюлозного производства при введении алюминия в аэротенк в виде оксихлорида (1, 2) и сульфата (3, 4) алюминия при различных значениях pH: 1, 3 – 7,2; 2, 4 – 8,1

что адсорбционно-коагуляционная очистка (АК) с применением порошкообразного адсорбента снимает ингибирование алюминием последующей биологической ступени, что выравнивает эффективность схем АК-Б и Б-АК для стоков СФА. Наилучшие результаты дает применение адсорбентов с высокой селективностью адсорбции многовалентных катионов.

Совмещение биологической и адсорбционной очистки. Введение в аэротенк порошкообразного адсорбента (биоадсорбционная очистка) позволяет повысить эффективность удаления примесей и улучшить способность активного ила к уплотнению и обезвоживанию. Важным для практики преимуществом биоадсорбционной очистки является высокая устойчивость процесса при нестабильности характеристик сточной воды, что иллюстрируют экспериментальные данные, полученные на смешанном потоке щелочесодержащих сточных вод СФА и СФИ при одинаковых (1,5 ... 2,0 кг/м³) дозах активного ила и адсорбента в аэротенке (табл. 2). Стабилизирующее действие адсорбента на очистку в аэротенке возрастало с увеличением его сорбционной емкости по органическим веществам и катионам. Для эффективного поддержания оптимального диапазона pH (pH 7,0 ... 8,5) биологической очистки необходимы адсорбенты с выраженным буферным действием, что характерно для так называемых буферных катионитов, т. е. катионитов со слабокислотными ионогенными группами.

Таблица 2

Эффективность биологической и биоадсорбционной очистки в аэротенках модельных щелочесодержащих сточных вод (адсорбент – порошкообразный продукт термокаталитической обработки осадка)

Режим*	Биологическая очистка			Биоадсорбционная очистка		
	ЭО _{ХПК}	ЭО _{БПК}	Иловый индекс, см ³ /г	ЭО _{ХПК}	ЭО _{БПК}	Иловый индекс, см ³ /г
	%			%		
1	43,0	95,4	80	51,6	98,6	40
2	38,7	91,3	140	47,2	97,3	51
3	32,6	85,5	85	45,1	95,9	42
4	29,0	80,7	150	41,2	94,0	60

*1 – стационарный режим: рН, 7,0...7,5; ХПК = 1340 г/м³; 2 – рН 5,3...10,3; ХПК = 1340 г/м³; 3 – рН 7,3; ХПК = 450...6730 г/м³ (в среднем 1000 г/м³); 4 – рН 5,6...10,6; ХПК = 670...2000 г/м³ (в среднем 800 г/м³).

Проведенные исследования позволяют выявить следующие требования к адсорбентам, используемым в системах адсорбционно-коагуляционно-биологической очистки:

значительная адсорбционная емкость по органическим веществам, извлечение которых из воды облегчает процессы коагулирования и биологического окисления примесей;

значительная ионообменная емкость при высокой селективности сорбции многовалентных катионов (электроселективности), что необходимо для сокращения содержания остаточного алюминия в очищенной сточной воде, а также извлечения из воды соединений тяжелых металлов, ингибирующих процесс биологического окисления;

выраженное буферное действие, обусловленное присутствием слабых кислотных ионогенных групп и необходимое для стабилизации рН обрабатываемой воды на заданном уровне.

Регенерированные коагулянты не должны уступать по эффективности товарным коагулянтам и иметь низкую кислотность, что позволит избежать подщелачивания сточных вод при их коагуляционной очистке.

Выполненные ранее исследования [1, 4] показали принципиальную возможность термокислотной переработки алюминийсодержащих осадков типа шлам-лигнина на коагулянты и ионообменные адсорбенты, обладающие указанными свойствами. Однако большие расходы серной кислоты обусловили эколого-экономическую неконкурентоспособность данного метода. Поэтому в настоящей работе решалась задача выявления технологических режимов термокислотной обработки осадка, обеспечивающих получение эффективных адсорбентов и коагулянтов при относительно малых расходах серной кислоты.

Объектом исследований служил шлам-лигнин Байкальского ЦБК, содержащий 9,7 % Al₂O₃ в расчете на воздушно-сухое вещество, влажность которого составляла 8 %. Воздушно-сухой шлам-лигнин обрабатывали концентрированной серной кислотой, образующийся продукт промывали водой, получая в результате адсорбент и раствор коагулянта. В процессе суль-

фирирования осадка изменяли дозу серной кислоты (20 ... 90 мл концентрированной H_2SO_4 на 100 г шлам-лигнина), температуру (150 ... 250 °С) и продолжительность обработки (30 ... 60 мин).

При дозах кислоты менее 0,3 мг/л смачивание частиц шлам-лигнина было неполным, что не позволяло получить адсорбенты удовлетворительного качества из-за «непровара». Соединения алюминия переходили в раствор в количестве, не превышающем 40 %.

При достаточном смачивании шлам-лигнина серной кислотой (более 0,3 мг/г) варьирование режима процесса сульфирования позволяет получить адсорбенты с различными свойствами – от ионообменных адсорбентов типа сульфоуглей до адсорбента, приближающегося по свойствам к окисленным активным углям. Так, установлено, что повышение температуры обработки при избытке серной кислоты увеличивает ионообменную емкость получаемых адсорбентов, но их химическая устойчивость снижается, а раствор регенерированного коагулянта загрязняется органическими примесями. Напротив, при недостатке серной кислоты повышение температуры и продолжительности обработки приводит к отщеплению сульфогрупп, повышению химической стойкости адсорбентов и получению растворов регенерированных коагулянтов с низким содержанием органических веществ.

Наибольший практический интерес представляют результаты (табл. 3), полученные при дозе 35 мл концентрированной серной кислоты на 100 г воздушно-сухого шлам-лигнина, что в 3–4 раза меньше доз, применявшихся ранее [4].

Таблица 3

Выход и характеристика продуктов сульфирования

Показатель	Значение показателя
Выход:	
адсорбента, % от навески воздушно-сухого шлам-лигнина	60
», г	60
коагулянта, % от содержания соединений Al в шлам-лигнине	81
», мг-экв $Al_2(SO_4)_3$	462
», мл раствора	370
Концентрация Al^{3+} в растворе регенерированного коагулянта, г-экв/л	1,25
Избыточная кислотность раствора регенерированного коагулянта, г-экв/л	0,56
Эквивалентное соотношение H^+ / Al^{3+} в растворе регенерированного коагулянта	0,45
ХПК раствора регенерированного коагулянта, мг O_2 /л	260
Статическая обменная емкость (СОЕ) адсорбента по Na^+ , мг-экв/г при рН:	
5	0,30
6	0,45
7	0,55
8	0,70
9	1,00

Как видно из приведенных данных, полученный раствор регенерированного коагулянта характеризуется относительно невысоким содержанием органических примесей, определенных по ХПК, и относительно небольшой кислотностью. Эффективность регенерированного коагулянта в сравнении с товарным сульфатом алюминия была испытана в опытах по обесцвечиванию модельной щелочосодержащей сточной воды СФА, имевшей цветность (C) 4800 °ХКШ и щелочность 8 мг-экв/л. Доза коагулянтов D_k была рассчитана по эмпирической формуле: $D_k = 4\sqrt{C} = 277$ мг/л по $Al_2(SO_4)_3$. Эффективность обесцвечивания при pH 5,0 для регенерированного коагулянта составила 97,0 %, для товарного – 95, 5 %.

Зависимость статической обменной емкости (СОЕ) от pH (табл. 3) позволяет полагать, что полученный адсорбент является полифункциональным катионитом, содержащим как сильнокислотные ионогенные группы (сульфогруппы), так и слабокислотные (карбоксильные группы и фенольные гидроксилы), при количественном преобладании слабокислотных групп. Для оценки его способности к селективной сорбции ионов более высокой валентности (так называемой электроселективности) экспериментально определили коэффициенты разделения ионов Ca^{2+} и Na^+ (рис. 4), используя формулу

$$K_{\text{разд}}^{Ca/Na} = \frac{[\overline{Ca^{2+}}] [Na^+]}{[Ca^{2+}] [\overline{Na^+}]},$$

где символы ионов в квадратных скобках выражают равновесные концентрации ионов в фазе катионита (с черточкой наверху) и в фазе раствора.

Из графиков (рис. 4) видно, что адсорбент проявляет значительную селективность к ионам Ca^{2+} , возрастающую при переходе от кислотной области к нейтральной, что можно объяснить участием в ионном обмене карбоксильных групп, характеризующихся, по сравнению с сульфогруппами, более высокой селективностью. Рост селективности при уменьшении относительной доли Ca^{2+} в растворе согласуется с теорией ионообменного равновесия, а на практике позволит эффективно извлекать катионы тяжелых металлов из сточной воды с высокой общей концентрацией электролитов.

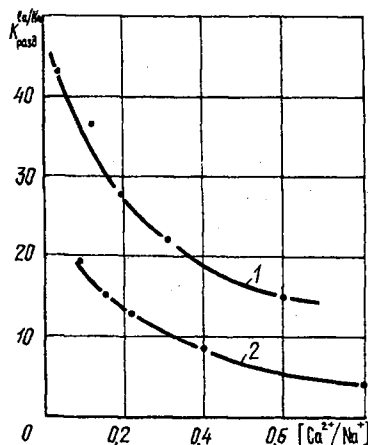
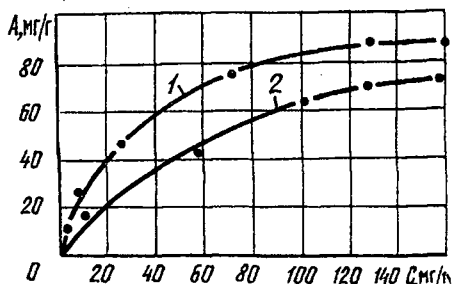


Рис. 4. Зависимость коэффициента разделения от соотношения концентраций ионов Ca^{2+} и Na^+ в растворе: 1 – нейтральная среда (pH 6,4); 2 – кислая среда (pH 2,8)

Рис. 5. Изотерма адсорбции красителя метиленового голубого: 1 – адсорбент, полученный сульфированием шлам-лигнина; 2 – термокаталитической обработкой шлам-лигнина



Адсорбционная способность и удельная поверхность полученного адсорбента были определены методом адсорбции из водной среды метиленового голубого [1]. Для сравнения определялись характеристики адсорбента, являвшегося продуктом термокаталитической обработки шлам-лигнина.

Изотермы адсорбции показаны на рис. 5. Величина предельной адсорбции A и удельная поверхность для адсорбента, полученного сульфированием, соответственно составили 87,0 мг/г и 143 м²/г, что выше характеристик адсорбента, полученного термокаталитическим методом (соответственно 71,5 мг/л и 117 м²/г).

Приведенные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что полученный сульфированием шлам-лигнина адсорбент обладает развитой пористостью, значительной удельной поверхностью и сочетает адсорбционные и ионообменные свойства при высокой селективности сорбции многовалентных катионов.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что разработанный нами технологический режим сульфирования алюминийсодержащих осадков и шламов обеспечивает получение адсорбентов и регенерированных коагулянтов, удовлетворяющих требованиям к их использованию в процессах адсорбционно-коагуляционно-биологической очистки сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольф И.В., Пушкарева Н.Е. Адсорбционные свойства сорбентов на основе шлам-лигнина // Химия и химическая технология. – 1986. – Т. 29, вып. 3. – С. 61–63.
2. Николаев А.Н., Николаева Л.Н., Гордеева И.В. Биоадсорбционная и адсорбционно-коагуляционная очистка сточных вод ЦБП // Лесн. журн. – 1994. – № 5–6. – С. 65–71. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Чернобережский Ю.М., Николаев А.Н., Дягилева А.Б. Решение проблем охраны окружающей среды в рамках ГКНТП // Лесн. журн. – 1994. – № 5–6. – С. 57–61. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Широкова В.Ф. Разработка малоотходных технологических способов утилизации шлам-лигнина с использованием полученных продуктов в процессах очистки воды: Автореф. ... канд. хим. наук. – Л., 1979. – 18 с.

С.-Петербургский государственный университет
растительных полимеров

Поступила 30.08.97

I.V. Volf, A.N. Nikolaev, E.V. Rugen, I.V. Nilova

Sediments Processing into Adsorbents for Adsorption-coagulation-biological Treatment of Wastewater

The sulfonation mode of the aluminum-containing sediments is developed, providing obtaining the adsorbents and regenerating coagulating agents for the adsorption-coagulation-biological treatment of wastewater.

УДК 543.272.32

Л.Н. Григорьев, Е.А. Есина, Т.И. Буренина

Григорьев Лев Николаевич родился в 1941 г., окончил в 1965 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, кандидат технических наук, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет 126 научных трудов в области химической очистки выбросов в атмосферу и утилизации промышленных отходов.



Буренина Татьяна Ивановна родилась в 1951 г., окончила в 1973 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет 35 научных трудов в области химической очистки газовых выбросов в атмосферу и утилизации промышленных отходов.



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ АНАЛИЗЕ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Приведены результаты исследований кинетики хемосорбции диоксида азота раствором иодида калия, а также динамики и статистики адсорбции NO_2 на лигнинном активном угле; показаны преимущества адсорбционного метода концентрирования NO_2 из выбросов в атмосферу; предложено уравнение для расчета основных параметров адсорбционного метода отбора проб газов, загрязненных оксидами азота.

Для газообразных выбросов целлюлозно-бумажных предприятий наиболее характерными загрязняющими веществами (ЗВ) являются диоксид серы, сероводород и метилсернистые соединения. В связи с повышением

требований к качеству очистки выбросов в последние годы к контролируемым ЗВ были отнесены также и оксиды азота (NO_x), образующиеся, в основном, при сжигании энергетического топлива и черного шелока.

В соответствии с нормативными требованиями применяемые методики определения концентраций ЗВ [11, 12, 14] должны обеспечивать погрешность не более 8 ... 25 % (в зависимости от назначения) и степень отбора (концентрирования) ЗВ из газового потока не менее 95 %. При этом стадия отбора проб вносит, как правило, наибольший вклад в общую погрешность определения концентрации ЗВ. Однако в литературе изучению этой стадии уделяется недостаточное внимание.

В задачу данной работы входило изучение влияния условий контакта NO_x -содержащих газов с жидким или твердым сорбентом с целью выбора наиболее эффективного способа анализа газов.

Для определения концентрации NO_x в отечественной практике наиболее часто используют способ, включающий пропускание их через окислительный порошок (для окисления монооксида азота NO в диоксид азота NO_2) и поглотительные сосуды (абсорберы), заполненные раствором иодида калия, с последующим добавлением к раствору реактива Грисса–Илосвая и фотометрическим измерением интенсивности образующейся окраски [8].

Имеющиеся сведения о механизме абсорбции NO_2 немногочисленны и противоречивы. В частности, в [9] отмечается, что NO_2 , поглотившийся раствором иодида калия, восстанавливается до NO , который мгновенно окисляется до NO_2 . С другой стороны, в [16] показано, что окисления нитрит-ионов при поглощении малых количеств NO_2 не наблюдается; в этой же работе отмечается, что растворенный NO_2 полностью реагирует с иодидом калия. Однако данные, подтверждающие полноту протекания процесса не приведены.

Процесс окисления NO , имеющий место при пропускании потока газа через слой окислительного порошка, в данной работе не рассмотрен, так как ранее [7] нами было показано, что при окислении NO в NO_2 имеет место адсорбция и хемосорбция последнего на поверхности окислительного порошка, что обуславливает заниженные результаты анализа. С учетом этого предложены условия окисления NO , обеспечивающие снижение погрешности определения.

В данной работе сопоставлены два способа поглощения NO_x из газов: раствором KI и активным углем.

Изучение абсорбции NO_2 проводили на типовой проточной установке, включающей моностаг, колонку с алонжем и хлоридом кальция для обеспыливания и сушки воздуха, стандартный барботажный абсорбер с пористой пластинкой (ПП), заполненный 8 %-м раствором иодида калия (объем 6 мл), калиброванный реометр и тягодутьевое устройство. Диоксид азота получали по прописи [4]; газоздушную смесь (ГВС) готовили путем ввода чистого NO_2 в предварительно вакуумированный до остаточного давления (7,0 Па) баллон, в который затем нагнетали компрессором воздух до давления $4 \cdot 10^5$ Па. После выдержки в течение 1 ч в ГВС из баллона опре-

деляли концентрацию NO_2 путем абсорбции его непосредственно реактивом Грисса–Иловая [15] в трех последовательно расположенных абсорберах с ПП при объемной скорости отбора 0,15 л/мин. Отбор прекращали при появлении окраски в третьем абсорбере. Растворы фотометрировали на спектрофотометре СФ-46.

Расхождение результатов (расчетных и полученных в ходе анализа NO_2 в исходной ГВС) не превышало 5,86 %. В опытах изменяли концентрацию диоксида азота C , объемную скорость подачи газовой смеси Q и число абсорберов n ; при этом увеличение числа абсорберов на единицу соответствовало повышению объема поглотительного раствора на 6 мл. Продолжительность отбора проб составляла 5 мин. Концентрацию NO_2 определяли в потоке ГВС на входе и выходе из абсорберов. Влияние сопутствующих ЗВ, характерных для промышленных выбросов, на данном этапе исследований не изучалось.

Влияние объема абсорбента V (или числа абсорберов) и объемной скорости ГВС на эффективность абсорбции NO_2 (степень адсорбции – C_a ; степень окисления NO – C_o) показано на рис. 1. Данные рис. 1 позволили определить коэффициент массопередачи ($K_v = 0,545 \text{ с}^{-1}$) и рассчитать с использованием теории обновления поверхности и уравнения аддитивности фазовых сопротивлений [10] коэффициенты массоотдачи в газовой ($\beta_g = 95,14 \text{ с}^{-1}$) и жидкой ($\beta_{ж} = 0,43 \text{ с}^{-1}$) фазах, а также коэффициент ускорения ($\gamma = 3,07$) массоотдачи в жидкой фазе за счет химической реакции.

Полученные значения коэффициентов свидетельствуют о том, что при сорбции NO_2 раствором КJ основное сопротивление процессу массопереноса сосредоточено в жидкой фазе. В этом отношении применение абсорберов барботажного типа при отборе проб газов, содержащих NO_2 , является вполне оправданным. Из сравнения кривых 2–5 (рис. 1) следует, что при абсорбции NO_2 , как и в случае других газов [13], абсорбер с ПП является наиболее эффективным из известных типовых конструкций барботажных абсорберов.

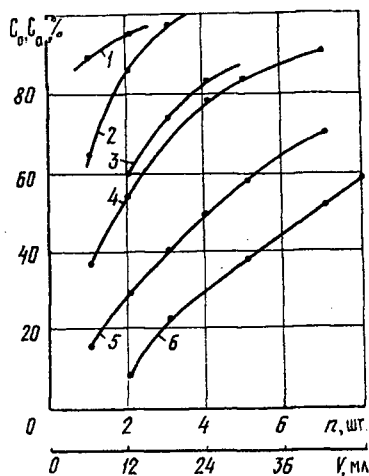
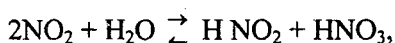


Рис. 1. Влияние гидродинамических факторов на эффективность хемосорбции NO_2 в абсорбере с ПП (1, 2, 4, 6) и абсорбере Зайцева (3, 5): 1 – $Q = 0,1 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$; 2, 3 – 0,2; 4, 5, 6 – $0,5 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$

Невысокие значения коэффициента ускорения свидетельствуют о том, что реакция, вследствие которой свободно-растворенный NO_2 переходит в связанное состояние, протекает, в основном, в объеме жидкости [1]. Повышение эффективности хемосорбции NO_2 при уменьшении объемной скорости ГВС можно отнести за счет того, что сопротивление в жидкой фазе лимитируется химической реакцией. Вероятнее всего такой реакцией является



для которой константа скорости прямой реакции имеет достаточно низкое значение – $3,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ [5, 13].

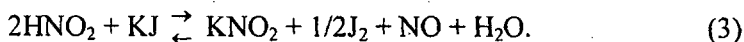
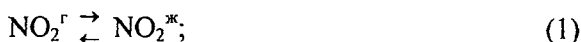
Из рис. 1 следует, что объемная скорость ГВС существенно влияет на эффективность поглощения NO_2 8 %-м раствором КJ. При этом значение эффективности поглощения 95 % достигается при обычно рекомендуемой скорости 0,2 л/мин (кривые 2–4) только при использовании 3 абсорберов. Следовательно, известные условия отбора ГВС, предусматривающие использование 1-2 абсорберов, не обеспечивают нормативную эффективность поглощения и обуславливают получение заниженных результатов. Применение 1-2 абсорберов при отборе ГВС возможно только при снижении объемной скорости до 0,1 л/мин или увеличении объема поглотительного раствора в абсорберах. Влияния концентрации NO_2 в ГВС (в диапазоне 0,01 ... 0,12 г·м⁻³) на эффективность его поглощения нами замечено не было. Расчет эффективности η поглощения NO_2 , достигаемой при заданных условиях, может быть выполнен по формуле

$$\eta = 1 - 10^{-VK_f / 2,3Q},$$

где Q – объемная скорость ГВС, мл/с;

V – объем абсорбента, мл.

С учетом полученных данных, а также результатов расчета и сравнения величин изобарно-изотермического потенциала возможных реакций взаимодействия иодида калия с азотистой кислотой представляется возможной следующая схема хемосорбции NO_2 :



Предложенная схема позволяет выявить ряд особенностей, характерных для рассматриваемой методики.

Из рис. 1 (кривая б) видно, что NO , образующийся по реакции (3), в присутствии кислорода частично может окисляться, что способствует накоплению в растворе нитрит-ионов и, следовательно, получению завышенных результатов. С другой стороны, при увеличении продолжительности отбора пробы и повышенной концентрации кислорода в ГВС (например при отборе вентиляционных выбросов) возможно окисление нитрит-ионов, образующихся по реакции (2), до нитрат-ионов и получение вследствие этого зани-

женных результатов. Следует также отметить, что заметное выделение иода, имеющее место при относительно высоких концентрациях NO_2 в ГВС, может способствовать смещению максимума светопоглощения и изменению конечного результата.

Некоторые из отмеченных особенностей (образование NO по реакции (3) и его окисление, выделение иода) могут быть исключены при замене иодида калия на другие активные компоненты, в частности на реактив Грисса–Илосвая [14]. Однако реакция (2) и в этом случае остается лимитирующей и, следовательно, отмеченные выше (рис. 1) гидродинамические закономерности сохраняются.

Во второй части работы нами были изучены условия адсорбции NO_2 на активном угле, полученном из гидролизного лигнина и имеющем следующие параметры: истинная плотность $1,11 \text{ г/см}^3$, удельный объем адсорбционного пространства $0,17 \text{ см}^3/\text{г}$, структурная константа $0,17 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-2}$, удельная поверхность мезопор $63,80 \text{ м}^2/\text{г}$. Динамику адсорбции NO_2 изучали в диапазоне концентраций $10 \dots 400 \text{ мг/м}^3$ аналогично тому, как это делалось при изучении абсорбции (абсорбер был заменен адсорбером – сорбционной трубкой с внутренним диаметром $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, длиной $0,08 \text{ м}$; фракция угля – $(0,6 \dots 1,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (навеску угля перед исследованием выдерживали при температуре 523 К в течение 2 ч в токе гелия, затем охлаждали до температуры опытов). Изотермы адсорбции NO_2 строили по результатам расчета выходных кривых, снятых при различных начальных концентрациях NO_2 в модельных смесях.

Из рис. 2 можно видеть, что в принятом интервале концентраций изотерма адсорбции NO_2 линейна. Характер изменения величины равновесной адсорбции a при различных температурах T свидетельствует о физическом механизме адсорбции NO_2 на лигнинном активном угле.

В области изученных значений начальных концентраций C_0 , соответствующих линейному участку изотермы, динамика адсорбции NO_2 (рис. 3) представлена прямыми линиями во всем интервале относительных проскоковых концентраций C/C_0 . Для изученного интервала высоты слоя сорбента перемещение этих линий происходит параллельно, что свидетельствует об одинаковой скорости перемещения NO_2 по длине слоя.

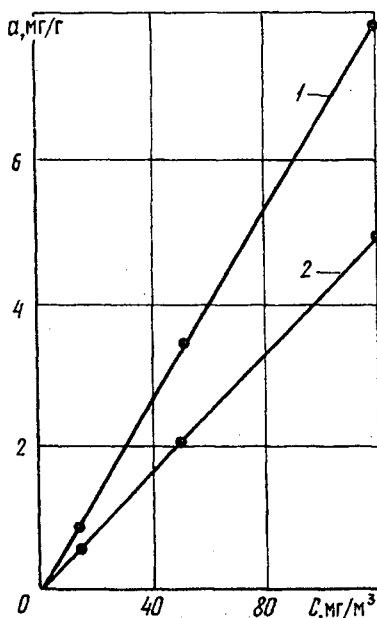


Рис. 2. Изотермы адсорбции NO_2 :
1 – $T = 291 \text{ К}$; 2 – 302 К

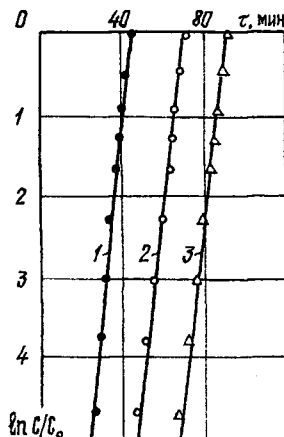


Рис. 3. Выходные кривые адсорбции NO_2 : 1 – $C_0 = 52,4 \text{ мг/м}^3$, $T = 302 \text{ К}$, $\omega = 0,16 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, $L = 0,03 \text{ м}$; 2 – 44,1; 291; 0,25; 0,05; 3 – 64,5 мг/м^3 ; 302 К; 0,16 $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 0,06 м

По данным рис. 3 и уравнению [6] $E = -0,434 L\beta/\omega$ (здесь E – отрезок, отсекаемый на оси ординат; L – длина слоя угля, м; ω – линейная скорость потока газа в свободном сечении концентрационной трубки, м/с) рассчитаны коэффициенты массопередачи β при адсорбции NO_2 .

В зависимости от длины слоя относительная погрешность изменения β при адсорбции NO_2 составляет 1,7 %, от начальной концентрации – 3,4 %. Прямолинейный характер выходных кривых и невысокая погрешность позволяют допустить, что кинетика процесса в области низких начальных и проскоковых концентраций определяется в основном сопротивлениями в газовой фазе и является следствием продольного переноса. Для оценки распределения концентрации NO_2 во времени может быть использовано уравнение Дубинина [6]

$$\lg C / C_0 = -0,434 \frac{\beta}{\omega} L + 0,434 \frac{\beta C_0}{\alpha a_0} \tau_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где α – коэффициент, определяемый по выходной кривой.

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 2, 3, и результаты их обработки могут быть применены для расчета концентраторов с использованием принятых при отборе проб газов показателей, например объема до проскока $V_{\text{пр}}$ [3], представляющего собой отношение объема пропускаемого через концентратор потока газа с ЗВ до появления проскоковой концентрации ЗВ к массе адсорбента m в концентрационной трубке:

$$V_{\text{пр}} = \frac{Q\tau_{\text{пр}}}{m}, \quad (5)$$

где Q – объемная скорость потока отбираемого газа, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\tau_{\text{пр}}$ – время появления заданной проскоковой концентрации, с.

Подставляя в соотношение (5) значение $\tau_{\text{пр}}$ из уравнения (4), получим

$$V_{\text{пр}} = \frac{Q}{\omega} \frac{\alpha}{c_0} \left[4 - \frac{\omega}{\beta} \ln \left(\frac{C_0}{C} \right) \right]. \quad (6)$$

Основные параметры концентрирования NO₂

Начальная концентрация диоксида азота C ₀ , мг/м ³	Линейная скорость потока газа ω, м · с ⁻¹	Длина слоя угля L, м	Температура T, К	Количество NO ₂ , мг				Относительная погрешность, %	
				поступившее	адсорбированное	десорбированное	определенное	определения концентрации NO ₂	расчета объема до проскока V _{пр}
52,4	0,16	0,03	302	0,855	0,769	0,760	0,729	11,24	13,63
44,1	0,25	0,05	291	2,017	1,815	1,688	1,644	14,37	13,32
64,5	0,25	0,06	291	3,966	3,569	3,462	3,358	11,71	11,28

С учетом линейного характера изотермы адсорбции NO₂ для данных адсорбента и температуры пробоотбора соотношение $a_0/C_0 = \text{const}$. Следовательно, значение $V_{\text{пр}}$ не зависит от величины начальной концентрации NO₂. Используя уравнение (6), можно определить, с учетом температуры газа, для концентрационной трубки произвольного диаметра значения объемной скорости и длины слоя адсорбента, обеспечивающие такую величину $V_{\text{пр}}$, которая бы соответствовала заданной эффективности поглощения NO₂.

Следует отметить, что при расчете сечения концентрационной трубки Q/ω и ее внутреннего диаметра определяющим параметром в уравнении (6) является величина ω .

В таблице представлены основные условия концентрирования NO₂ адсорбционным методом. При этом десорбцию NO₂ осуществляли путем пропускания инертного газа через слой навески угля, помещенной в испаритель хроматографа «Chrom-5» [2].

Из данных таблицы видно, что общая относительная погрешность определения концентрации NO₂ с использованием адсорбционного метода концентрирования не превышает 14,37 %, а погрешность расчета величины $V_{\text{пр}}$ – 13,63 %.

Итак, адсорбционный метод поглощения NO₂ при анализе газовых выбросов является более технологичным в сравнении с абсорбционным методом. В качестве адсорбента для концентрирования NO₂ представляется возможным использовать активный уголь, полученный из гидролизного лигнина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксельрод Ю.В. Газожидкостные хемосорбционные процессы. Кинетика и моделирование. – М.: Химия, 1969. – 240 с.
2. Аранович Г.И., Коршунов Ю.Н., Ляликов Ю.С. Справочник по физико-химическим методам исследования объектов окружающей среды. – Л.: Судостроение, 1979. – 648 с.
3. Другов Ю.В. и др. Методы анализа загрязнений воздуха. – М.: Химия, 1984. – 384 с.
4. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические реактивы. – М.: Госхимиздат, 1955. – 583 с.

5. Кинд Р. Моделирование абсорбции окислов азота // Информ. «Защита атмосферы» (Дрезден). – 1987. – С. 155–159.
6. Николаев К.М., Дубинин М.М., Поляков Н.С. Кинетика и динамика физической адсорбции. – М.: Наука, 1973. – 360 с.
7. Определение оксидов азота. / Э.Н. Вальская, Л.Н. Григорьев, А.Б. Дягилева, Л.М. Матвеева // Технология судостроения. – 1985. – № 10. – С. 76–78.
8. Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы. – Л.: Химия, 1981. – 384 с.
9. Полетаев Н.Г., Гирина В.В. Методика определения сернистого газа и двуокси азота в атмосферном воздухе // Гигиена и санитария. – 1949. – № 11. – С. 26–29.
10. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
11. РД 52.04.186–89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М., 1991. – 693 с.
12. Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Книга 2 / М.И. Буковский, М.И. Колесник, С.И. Муравьева, Г.А. Дьякова. – М.: Химия, 1993. – 416 с.
13. Рыхтер Э.В. Основные показатели работы поглотительных приборов // Гигиена и санитария. – 1974. – № 2. – С. 20–24.
14. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 270 с.
15. Сигал И.Я., Цирульников Л.М., Колюхов В.Г. Определение концентраций окислов азота в дымовых газах котлов // Электрические станции. – 1975. – № 7. – С. 19–21.
16. Шустов Д.А., Бакулина Л.А. Упрощенный метод определения озона и двуокси азота при совместном их присутствии в воздухе // Гигиена и санитария. – 1975. – № 12 (69). – С. 69–71.

С.-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров

Поступила 16.10.97

L.N. Grigorjev, E.A. Esina, T.I. Burenina

Comparative Study of Absorption Methods for Nitric Oxide when Analyzing the Gas Emissions

The research data on kinetics of nitrogen dioxide chemisorption by potassium iodide solution are provided as well as data on dynamics and static of nitrogen dioxide adsorption on the lignin active coal. The advantages of the adsorption method of concentrating nitrogen dioxide from the emissions into the air are demonstrated; the equation for calculating the main parameters of adsorption method for gas sampling, polluted with nitric oxides, is suggested.

УДК 620.197.2:630*86.002.6

Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Трофимов

ИСПЫТАНИЯ ЛЕСОХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ЭПОКСИДНЫХ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Установлено, что лесохимические добавки (камфарные полимеры и масло сосновое) являются хорошими модификаторами эпоксидных смол; противокоррозионные композиции с ними по своему эластифицирующему действию не уступают традиционному пластификатору – дибутилфталату.

В настоящее время для защиты от коррозии стальных и железобетонных конструкций, а также для выполнения верхнего покрытия полов в больших количествах используют противокоррозионные материалы на основе эпоксидных смол, преимущественно импортных, поскольку отечественные дефициты.

Доступность отечественных эпоксидных композиций можно значительно повысить, вводя в них модификаторы – вещества более дешевые, чем олигомеры. Они увеличивают объем композиции, не ухудшая свойств конечного изделия, при этом отдельные его показатели улучшаются.

Нами проведены исследования, направленные на использование в качестве модификаторов веществ, являющихся отходами лесохимической промышленности.

Для изучения готовили при обычных условиях смеси из смолы ЭД-20 (100 мас. ч) и исследуемого лесохимического модификатора, перемешивали, добавляли отвердитель (полиэтиленполиамин) и снова перемешивали. При смешивании компонентов отмечали их совместимость, изменение вязкости. Композицию наносили на защищаемую поверхность кистью или распылителем. Условия отверждения: комнатная температура, относительная влажность воздуха 30 ... 80 %. Жизнеспособность композиций 90 ... 150 мин.

После отверждения композиции на подложке определяли физико-химические свойства покрытий по общепринятым в лакокрасочной технике методикам. Адгезионную прочность композиции исследовали решетчатым надрезом (ГОСТ 15140–78), предел прочности при ударе – на приборе У-1А (ГОСТ 4765–73), предел прочности при изгибе – по ГОСТ 6806–73, эластичность – по ГОСТ 6860–75, предел прочности на сжатие – по ГОСТ 4651–82, предел прочности при отрыве (адгезия к стали) – по ГОСТ 14760–69, коррозионную стойкость (кислотостойкость, щелочестойкость) – по ГОСТ 12020–72.

Для измерения предела прочности при сжатии готовили образцы в виде кубиков с ребром 0,02 м в специальных металлических разъемных формах, применяемых в строительных лабораториях для изготовления це-

ментных кубиков. Для того, чтобы эпоксидная композиция не прилипла к стенкам форм, их смазывали минеральным маслом.

Испытания проводили на прессе ПГ-Л5 с равномерной скоростью нагружения образцов. Для испытаний брали по шесть образцов. Момент разрушения устанавливали по резкому уменьшению нагрузки (для хрупких образцов) или по отсутствию нарастания нагрузки (для пластичных образцов).

Количество неотвержденных веществ определяли следующим образом. Образец отвержденной эпоксидной композиции измельчали в порошок, навеску порошка (0,6 ... 0,7 г) взвешивали на аналитических весах с точностью $\pm 0,001$ г, пересыпали в пакетик из фильтрованной бумаги и вновь взвешивали. Навеску помещали в аппарат Сокслета и экстрагировали ацетоном в течение 6 ч. После этого пакетик вынимали, сушили при температуре 60 °С в течение 30 мин, затем охлаждали в эксикаторе над прокаленным хлористым кальцием в течение 2 ч и взвешивали. Потерю массы вычисляли в процентах к исходной навеске.

Количество летучих веществ в отвержденных эпоксидных композициях определяли следующим образом: навеску порошка (около 1 г) взвешивали на аналитических весах с точностью $\pm 0,001$ г, помещали в открытых бюксах в сушильный шкаф при температуре 120 °С (такая температура была выбрана потому, что при ней еще не происходит термического разложения эпоксидных полимеров и, в то же время, скорость испарения имеющихся в эпоксидных композициях летучих веществ достаточно высока). Через определенные промежутки времени бюксы вынимали, закрывали крышками, охлаждали до комнатной температуры в эксикаторе над хлористым кальцием и снова взвешивали. Потери в массе выражали в процентах от массы композиции.

В случае определения адгезии к бетонной поверхности происходил обрыв покрытия вместе с бетоном. Поэтому этот показатель не определяли.

Результаты исследования влияния лесохимических отходов на свойства эпоксидных противокоррозионных композиций приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, лучшими из изучавшихся лесохимических веществ являются камфарные полимеры и масло сосновое.

Камфарные полимеры (КП) представляют собой смесь кубовых остатков, получаемых в процессе ректификации скипидара, камфена и изоборнилформиата при производстве синтетической камфары.

Масло сосновое (МС) – вещество сложного и точно установленного состава. Известно, что оно состоит из 70 % терпеновых спиртов и 30 % терпеновых углеводородов.

Данные детального исследования свойств эпоксидных смол с добавками МС и КП представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, обе лесохимические добавки являются хорошими модификаторами эпоксидных смол, противокоррозионные композиции с ними по своему эластифицирующему действию не уступают традиционному пластификатору – дибутилфталату. Использование этих продуктов

Таблица 1

Свойства эпоксидных композиций с лесохимическими добавками

Модификатор	Количество модификатора, мас. ч., на 100 мас. ч. смолы	Предел прочности при сжатии, МПа, через время, сут			Массовая доля, % неотвержденных веществ	Массовая доля, % летучих веществ	Стойкость к удару, м, через время, сут			Адгезия к стали, МПа, через время, сут			Кислото-стойкость, %	Щелоче-стойкость, %
		7	15	30			7	15	30	7	15	30		
Смола ЭД-20 без добавок	–	35,3	45,1	45,1	27,0	1,3	0,04	0,03	0,02	4,6	5,0	5,5	101,0	100,0
Дибутилфталат	15	68,6	73,5	77,4	23,0	4,0	0,13	0,15	0,15	6,5	5,2	4,0	99,5	99,8
Головная фракция от дистилляции экстракционной канифоли	50	13,5	10,0	10,2	49,0	9,1	0,02	0,02	0,02	0,8	1,1	1,0	98,6	99,0
Хвостовая фракция от дистилляции экстракционной канифоли	50	13,5	10,0	10,6	46,0	2,9	0,00	0,00	0,00	1,6	1,0	0,4	98,7	98,9
Смола канифольная полимеризованная	50	13,7	21,5	21,1	41,0	0,7	0,01	0,01	0,01	0,7	1,0	1,0	99,0	99,0
Кедровая канифоль	50	14,7	21,6	21,6	38,0	1,8	0,03	0,04	0,03	3,7	3,5	3,5	101,5	101,0
Кедровая канифоль, конденсированная	50	30,0	30,0	40,0	34,2	4,4	0,01	0,01	0,01	3,5	4,9	4,9	100,0	100,0
Формалином	50	42,5	42,5	45,2	33,0	4,0	0,10	0,09	0,05	3,3	2,7	2,5	101,5	101,0
Модифицированная кедровая канифоль	50	49,0	57,0	72,0	33,0	2,1	0,06	0,10	0,10	3,0	4,0	4,5	100,0	99,6
Масло сосновое	50	44,1	51,0	51,5	50,3	2,5	0,14	0,14	0,14	4,0	3,2	3,2	100,1	100,1
Камфарные полимеры	50													

Таблица 2

Состав и свойства эпоксидных композиций с добавками КП и МС

Состав модификатора, мас. ч. на 100 мас. ч. смолы	Предел прочности при сжатии, МПа, через время сут.			Предел прочности при ударе		Адгезия к стали, МПа	Предел прочности при изгибе, м	Кислото- стойкость, %	Щелоче- стойкость, %	Время высыхания, ч
	7	15	30	Дж/м	м					
КП	ПЭПА	МС								
15	13	—	42,3	46,2	47,5	0,03	0,05	101,0	100,0	3
20	10	—	45,0	50,0	50,0	0,06	0,08	101,0	100,2	3
20	12	—	45,2	50,5	50,5	0,06	0,08	101,0	100,2	4
30	12	—	45,1	51,0	51,8	0,07	0,12	100,0	100,1	4
50	12	—	44,1	51,0	51,5	0,12	0,14	100,1	100,1	4
50	13	—	45,0	52,0	52,0	0,12	0,15	100,0	100,1	4
70	14	—	45,4	52,6	53,2	0,14	0,17	100,1	100,0	5
80	15	—	45,1	52,8	53,1	0,15	0,18	100,0	100,2	5
100	10	—	37,0	41,0	42,0	0,17	0,20	100,0	100,2	6
—	13	15	41,7	47,1	54,9	0,04	0,05	101,0	100,0	4
—	13	20	45,1	51,6	58,4	0,06	0,09	100,9	100,0	4
—	13	30	47,2	55,2	61,2	0,08	0,10	100,5	99,9	4
—	13	50	49,0	57,0	72,0	0,10	0,10	100,0	99,6	5
—	13	70	49,9	58,6	67,1	0,13	0,15	100,0	99,6	5
—	13	80	52,7	60,1	68,3	0,14	0,18	100,0	99,5	6
—	13	100	53,0	62,3	69,3	0,16	0,22	100,0	99,5	6

Примечание. Адгезия эпоксидной композиции к стали в баллах равна 1.

дает возможность увеличить рабочую массу эпоксидной композиции при одинаковом расходе смолы ЭД-20 и снизить ее удельную стоимость.

Установлены оптимальные количества камфарных полимеров и масла соснового: соответственно 20 ... 80 и 20 ... 100 мас. ч. на 100 мас. ч. ЭД-20 и 13 мас. ч. ПЭПА.

Противокоррозионные покрытия с этими добавками обладают хорошими показателями: предел прочности на сжатие 52 ... 72 МПа, предел прочности при ударе 0,10 ... 0,20 Дж/м, адгезия к стали 3,2 ... 5,5 МПа, предел прочности при изгибе 0,010 ... 0,001 м, щелочестойкость 99,6 ... 100,1, кислотостойкость 100,0 ... 100,1.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
Центральный научно-исследовательский и проектный институт
лесохимической промышленности

Поступила 24.12.99

E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Trofimov

Testing Forest Chemical Products as Modifiers of Epoxy-rubber Antirust Compositions

Forest chemical additives (camforonic polymers and pine oil) are found out to be good modifiers of epoxide resins; anti-rust compositions with them don't give way to the traditional plasticizer - dibutyl phthalate from the point of view of their elastical effect.

УДК 630*86.002.62:667.633.26

Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Трофимов

ЛЕСОХИМИЧЕСКИЕ ЭЛАСТИФИКАТОРЫ ДЛЯ ЛАКОВ ИЗ БЛОЧНОГО ПОЛИСТИРОЛА

Решена задача по изысканию новых эластификаторов для блочного полистирола и его отходов, которые можно использовать при производстве противокоррозионных лакокрасочных материалов.

Проблема разработки доступных и недефицитных эластификаторов для блочного полистирола (ПСБ) и его отходов, которые можно было бы использовать при производстве противокоррозионных лакокрасочных материалов актуальна в настоящее время.

В качестве эластификаторов нами предложены следующие продукты и отходы лесохимической промышленности: ингибитор древесносмоляной (ИНГ), канифольно-экстракционные полимеры (КЭП), масло сосновое флотационное (МСФ), кедровая канифоль (ККН), терпенофенольная смола (ТФС), головная фракция от дистилляции экстракционной канифоли (ФЭК),

канифольные масла (КНМ), смола СКП (СКП), растворимая смола (РС), изомеризованная кедровая канифоль (ИКК), полимеризованная кедровая канифоль (ПКК), кедровая смола (КС), изоборнеольное масло (МИ), окисленная смола (ОС), масло талловое хвойных пород (МТХ), талловая канифоль (ТК), терпеновые димеры (ТД), древесный пек (ДП), камфарные полимеры (КП), камфарное масло (КМ), терпенофенолформальдегидная смола (ТФФС), хвостовая фракция от дистилляции экстракционной канифоли (ХФЭК), легкие масла от дистилляции таллового масла (ЛМТМ), масло талловое дистиллированное (МТД), масло талловое очищенное от неомыляемых веществ (МТО).

Для сравнения был выбран известный эластификатор – дибутилфталат (ДБФ).

Как известно, в качестве пленкообразующего вещества полистирол можно использовать только в виде растворов, в связи с чем нами исследована растворимость имеющихся у нас образцов полистирола в разных растворителях. Критерием пригодности растворителя и требуемой концентрации ПСБ служила вязкость полученного раствора, которая должна быть близка к 180 с по вискозиметру ВЗ-4.

Из растворителей изучены толуол, скипидар, уксусная кислота, этилацетат, растворители 646 и 647. Лучшие результаты получены при использовании толуола.

Растворы ПСБ в толуоле готовили вязкостью около 180 с (концентрация 23 ... 25 %). В полученный раствор вводили 5 ... 20 % ДБФ или 5 ... 50 % лесохимических веществ. Композицию тщательно перемешивали без подогрева до однородного состояния.

Установлено, что все добавки имеют хорошую совместимость с раствором ПСБ, образуют однородную нерасслаивающуюся во времени композицию (время наблюдения 7 сут).

Маркировка испытуемых лаков состояла из обозначения основного компонента – ПСБ, дозировки ДБФ или испытуемого вещества и сокращенного обозначения испытуемого вещества (см. выше).

Лаки наносили на подложки из кальки и полиэтилена сразу после приготовления и через 7 сут и сушили на воздухе.

Цвет и однородность лака устанавливали визуально, липкость – органолептически, прочность на изгиб – на приборе ШГ-1, сцепление с подложкой – качественно, по легкости отслаивания испытываемой пленки от подложки.

Композиции с дибутилфталатом (ПСБ-5 ДБФ) высыхают «до отлипа» через 1 сут, ПСБ-10 ДБФ – 5 ... 10 сут, ПСБ-15 ДБФ и ПСБ-20 ДБФ – 35 ... 40 сут. Липкость (время высыхания «до отлипа») остальных лаков представлена в таблице.

Данные исследования пленок ПСБ-лаков с лесохимическими добавками свидетельствуют о том, что лучшей прочностью на изгиб обладают пленки лаков с ДБФ, ИНГ, МСФ, КНМ, МИ, КП и КМ.

Время высыхания	Марка лака
15...25 мин	ПСБ-5 МИ, ПСБ-10 МИ
25...30 мин	ПСБ-5 КНМ, ПСБ-10 КНМ
До 1 сут	ПСБ-5 КП, ПСБ-5 КМ, ПСБ-5 ТФФС, ПСБ-5 МТО, ПСБ-5 ХФЭК, ПСБ-5 ЛМТМ, ПСБ-5 МТД
Через 1 сут	ПСБ-5 ДБФ, ПСБ-5 ИНГ, ПСБ-5 МСФ, ПСБ-5 ККН, ПСБ-20 КНМ, ПСБ-5 КЭП, ПСБ-5 ТФС, ПСБ-10 КП, ПСБ-5 ФЭК, ПСБ-10 КМ
5...6 сут	ПСБ-20 МИ
7...10 сут	ПСБ-10 ДБФ, ПСБ-20 ТФФС, ПСБ-20 ХФЭК, ПСБ-10 ФЭК, ПСБ-10 ТФФС*

* Все остальные лаки высыхают через 30 сут.

Хорошее сцепление с подложкой имеют лаки с ДБФ, ИНГ, МСФ, КНМ, МИ, КП, КМ, удовлетворительное – лаки с КЭП, ТФС. У всех остальных лаков сцепление плохое.

Лучшими лесохимическими эластификаторами для ПСБ-лаков являются ИНГ, МСФ, МИ, КП, КМ, КНМ, показавшие хорошую совместимость с раствором ПСБ. Лаки с ними однородные, не расслаиваются, быстро сохнут, имеют хорошую адгезию с подложкой и высокую прочность на изгиб.

С учетом того, что хорошей адгезией обладают вещества, содержащие гидроксильные и карбоксильные группы, было решено получить пленки из ПСБ и лесохимических добавок (содержащих эти группы) на металлической подложке. Для этого использовали два вида МСФ с содержанием спиртовых групп 8 и 20 % и экстракционную канифоль, в качестве подложки – сталь марки Ст. 3.

Результаты испытаний показали, что раствор ПСБ в толуоле с добавкой экстракционной канифоли имеет плохую адгезию, МСФ с содержанием 8 % спиртовых групп – удовлетворительную, с содержанием 20 % спиртовых групп – хорошую.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
Центральный научно-исследовательский и проектный институт
лесохимической промышленности

Поступила 24.12.99

E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Trofimov

Wood-and-chemical Elasticators for Lacquers from Bulk Polystyrene

The task was solved on investigating new elasticators for bulk polystyrene and its residues to be used for the production of anticorrosive lacquer materials.

УДК 631.572.004.8

Ф.Х. Хакимова, С.Г. Ермаков

Хакимова Фирдавес Харисовна родилась в 1938 г., окончила в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского государственного технического университета. Имеет 140 научных трудов в области теории и технологии целлюлозы.



ВАРИАНТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ

Исследован вариант комплексного использования отходов окорки древесины с раздельным использованием корковой и лубяной частей: корки в качестве топлива, луба для получения дубильного экстракта, лубяного волокнистого полуфабриката и кормовых дрожжей.

Целлюлозно-бумажная промышленность – один из крупнейших потребителей древесного сырья, большую часть потерь которого составляют отходы окорки, образующиеся при подготовке древесины к производству полуфабрикатов. Вовлечение этих отходов в промышленную переработку является одним из путей решения задачи комплексного использования древесины.

В настоящее время наметилось несколько направлений использования отходов окорки: в качестве топлива, для переработки на удобрения компостированием, для изготовления плитных материалов, выработки различных видов химических продуктов, получения сорбентов и др. Однако проблема утилизации коры, остается актуальной.

При разработке способов утилизации коры необходимо учитывать ее состав. Составные части коры (луб и корка) существенно отличаются друг от друга по физическим свойствам, химическому составу и анатомическому строению. В отличие от корки луб характеризуется повышенным содержанием углеводной части и водорастворимых веществ и пониженным – лигнина, высокой набухаемостью и водоудерживающей способностью, что обуславливает различную влажность луба и корки как в свежесрубленной древесине, так и в отходах ее окорки.

Авторами предлагается вариант комплексного использования отходов окорки древесины на целлюлозно-бумажных предприятиях, включающий раздельное использование корковой и лубяной частей: корковой части – в качестве топлива, лубяной части – для извлечения дубильного экстракта с дальнейшим применением одубины для получения лубяного волокнистого полуфабриката (ЛВП) и кормовых дрожжей.

В табл. 1 представлены состав и влажность отходов окорки древесины, отобранных на Камском ЦБК в зимнее время.

Таблица 1

Компоненты	Массовая доля компонентов в отходах окорки, %	Массовая доля влаги в компонентах, %
Общие отходы окорки	100,0	62,4
Древесина	16,5	54,4
Луб	22,0	63,8
Корка	13,4	40,0
Луб и корка (связанные)	31,3	54,2
Мелочь (фракция, проходящая через сито с диаметром отверстий 5 мм)	16,8	57,0

Из данных табл. 1 следует, что отходы сухой окорки древесины характеризуются весьма высоким содержанием древесины, а также связанных луба и корки и, соответственно, низким содержанием свободных луба и корки. Наибольшую влажность имеет лубяная часть отходов окорки, наименьшую (в 1,5 раза меньшую, чем луб) – корковая часть. Поэтому отделение луба от общих отходов окорки существенно снизит их влажность и, следовательно, повысит теплотворную способность и экономический эффект от их сжигания.

Отделение луба от других компонентов окорки осуществлено на специальном аппарате под действием центробежных сил [1]. Луб измельчали до таких размеров, чтобы при сортировании он проходил через сито с диаметром отверстий 20 мм и задерживался на сите с диаметром отверстий 5 мм. Такую степень измельчения луба считаем оптимальной по результатам предварительных исследований.

Извлечение дубильных веществ из лубяной части отходов окорки производили водной экстракцией. С целью получить более высокий выход дубильных веществ при приемлемой доброкачественности дубильного экстракта разработаны оптимальные условия экстракции луба, для чего был поставлен эксперимент по плану Бокса ($m = 3$). Изучалось влияние на результаты экстракции трех факторов: температуры, продолжительности экстракции и гидромодуля. В качестве выходных параметров выбраны следующие: выход дубильных веществ ($y_{д.в}$), содержание в экстракте сухих веществ ($y_{с.в}$), доброкачественность дубильного экстракта ($y_{д}$).

Матрица планирования эксперимента и результаты ее реализации представлены в табл. 2.

Каждый приведенный показатель является среднеарифметическим из двух параллельных определений. Дубильный экстракт получали четырехкратной экстракцией каждого образца луба.

Для выходных параметров получены следующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{д.в} &= 4,02 + 1,13x_1 + 0,32x_2 + 0,51x_3 + 0,27x_1^2 + 0,10x_2^2 - 0,19x_3^2; \\ \hat{y}_{с.в} &= 20,28 + 3,60x_1 + 1,34x_2 + 1,56x_3 + 1,01x_1^2 - 0,18x_2^2 - 1,29x_3^2 + 0,72x_1x_2; \\ \hat{y}_{д} &= 24,69 + 3,28x_1 + 1,56x_3 + 0,34x_1^2 + 0,96x_2^2 + 0,39x_3^2 - 1,14x_1x_2. \end{aligned}$$

Таблица 2

Номер опыта	Кодированные значения переменных			Натуральные значения переменных			Выходные параметры				
	Температура X_1	Продолжительность X_2	Гидро-модуль X_3	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность, мин	Гидро-модуль X_3	$U_{дв}$ % от абс. сухого сырья	г/л	% от абс. сухого сырья	$U_{св}$ г/л	$U_{д}$ %
1	1	1	1	100	90	10	6,2	2,2	25,9	9,3	30,8
2	-1	1	1	60	90	10	3,8	1,4	19,0	7,1	25,1
3	1	-1	1	100	30	10	5,5	2,1	22,5	8,5	32,0
4	-1	-1	1	60	30	10	3,2	1,2	17,0	6,2	23,7
5	1	1	-1	100	90	6	5,2	3,4	24,8	15,9	26,6
6	-1	1	-1	60	90	6	2,7	2,3	15,4	12,7	21,8
7	1	-1	-1	100	30	6	4,6	3,4	19,5	14,3	30,8
8	-1	-1	-1	60	30	6	2,4	1,8	14,4	11,1	19,6
9	1	0	0	100	60	8	5,3	2,3	25,8	11,2	26,0
10	-1	0	0	60	60	8	3,3	1,8	16,8	9,1	24,0
11	0	1	0	80	90	8	4,6	2,4	21,1	11,2	27,8
12	0	-1	0	80	30	8	3,6	2,0	19,1	10,5	23,6
13	0	0	1	80	60	10	4,5	1,7	21,6	8,1	26,1
14	0	0	-1	80	60	6	3,2	2,8	16,4	14,6	24,0

Здесь \hat{y} – промежуточное значение выходного параметра, представляющее собой значение функции отклика, предсказанное уравнением регрессии.

Задача оптимизации состояла в получении дубильного экстракта с выходом дубильных веществ не менее 5 % при максимально возможной доброкачественности экстракта. Получены следующие оптимальные условия экстракции луба: температура экстракции 94 °С, продолжительность 90 мин, гидромодуль 7:1.

Расчетные и фактические величины выходных параметров приведены в табл. 3.

Таким образом, результаты экстракции луба по оптимальному режиму соответствуют расчетным.

Одубина (остаток луба после экстракции дубильных веществ) была использована для получения ЛВП гидротермической обработкой, т.е. варкой в водной среде без использования химикатов. Ранее были разработаны оптимальные условия гидротермической обработки луба с получением ЛВП [2]. Эти же условия были приняты для варки одубины. Получены два образца ЛВП: из одубины, высушенной на воздухе до воздушно-сухого состояния, и из влажной одубины после экстракции луба, отжатой до сухости около 20 %.

В табл. 4 представлены условия проведения гидротермической обработки одубины и характеристика образцов ЛВП.

Из данных табл. 4 следует, что из одубины можно получить ЛВП с весьма высоким выходом. Обращает на себя внимание очень легкая размываемость ЛВП: ЛВП из воздушно-сухой одубины уже после подмола (обработка в ЦРА при 80 об/мин в течение 20 мин) имел степень подмола 50° ШР, после дополнительного размола (при 150 об/мин в течение 2 мин) – 60° ШР; ЛВП из влажного луба после подмола – 60° ШР.

Образцы ЛВП характеризуются также высокими величинами средней длины волокна, для образца ЛВП из влажного луба этот показатель на аппарате Иванова невозможно было определить из-за слишком большой длины волокон.

ЛВП обладает также пониженной способностью к обезвоживанию, однако он обезвоживается несколько лучше, чем дефибрерная древесная масса и термомеханическая масса при сопоставимых величинах степени помола (соответственно 128 и 140 с).

Показатели механической прочности образцов ЛВП находятся на достаточно высоком уровне, за исключением сопротивления излому.

Таблица 3

Показатели	Значения показателей	
	Расчетные	Фактические
$U_{д.в.}$ % от абс. сухого сырья (г/л)	5,1(3,5)	5,1(3,5)
$U_{с.в.}$ % от абс. сухого сырья (г/л)	22,4(15,3)	22,9(15,4)
$U_{д.}$ %	29,6	29,4

Таблица 4

Показатели	Значения показателей варки одубины	
	воздушно-сухой	влажной
Условия варки:		
гидромодуль	7:1	7:1
продолжительность подъема		
температуры до конечной, мин	90	90
температура, °С	145	145
продолжительность при конечной		
температуре, мин	90	90
Содержание сухих веществ в гидролизате, г/л	48	40
Массовая доля РВ в гидролизате, %	2,3	2,3
Выход ЛВП, %:		
из одубины	59,4	63,6
из исходного луба	47,5	50,8
Продолжительность размола, мин	Подмол / 2	Подмол
Степень помола, °ШР	50 / 60	60
Обезвоживаемость, с	66 / 110	98
Средневзвешенная длина волокна, мм	2,49 / 2,38	Высокая
Разрывная длина, м	4470 / 5330	4560
Сопротивление:		
излому, ч.д.п.	2 / 2	2
раздиранию, мн	530 / 190	290
продавливанию, кПа	125 / 145	85

Примечания: 1. Степень помола и обезвоживаемость исходных образцов ЛВП из воздушно-сухой одубины 28 °ШР; 43 с; из влажной одубины – 33 °ШР; 26 с. 2. В числителе приведены данные после подмола, в знаменателе – после 2-минутного размола.

Полученный нами ЛВП имеет темный цвет (подобно сульфатной целлюлозе), поэтому может быть использован в композиции продукции, к белизне которой не предъявляются какие-либо требования, например для внутренних слоев картона или оберточных бумаг.

В табл. 5 приведена характеристика гидролизата от гидротермической обработки одубины. Анализ гидролизата выполнен в лаборатории дрожжевого производства Пермского научно-исследовательского института бумаги. Исходя из приведенных данных и заключения лаборатории дрожжевого производства гидролизат после соответствующей подготовки может быть использован для выращивания кормовых дрожжей.

Таблица 5

Показатели	Значение показателей
Массовая доля РВ (редуцирующих веществ), %	2,26
Массовая доля летучих органических кислот в пересчете на уксусную кислоту, %	0,25
Массовая доля фурфурола, %	0,04
Кислотность, °К	36

Таким образом, предлагаемый вариант комплексного использования отходов окорки позволяет повысить эффективность их сжигания, а также получить дубильный экстракт, лубяной волокнистый полуфабрикат и гидролизат для выращивания кормовых дрожжей с использованием экологически безопасных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хакимов Р.Х., Ермаков С.Г.* К проблеме переработки древесных отходов. – Деп. в ВИНТИ 24.04.97, № 1340. – В 97.
2. *Хакимова Ф.Х., Ермаков С.Г.* Поиск эффективных направлений использования отходов окорки древесины. – Деп. в ВИНТИ 09.12.98, № 3631. – В 98.

Пермский государственный технический университет
Поступила 06.09.99

F.Kh. Khakimova, S.G. Ermakov

Variant of the Complex Use of the Wood Debarking Wastes

The variant of the complex use of the wood debarking wastes is investigated for a separate use of the outer and inner bark. The outer bark may be used as fuel, the inner bark - for producing bark extract, fibrous half-finished product and feed yeast.

УДК 630*867.5

Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Кислицын, Г.П. Григорюк

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБЮРИЗАТОРА ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

Показано, что получаемый по новой технологии древесноугольный карбюризатор полностью соответствует требованиям ГОСТа и может быть рекомендован для цементации стальных изделий.

Для повышения твердости чугуновых и стальных изделий используют цементацию – насыщение их поверхностного слоя углеродом. Производят этот процесс, засыпая детали крупной из древесного угля (фракция 4 ... 10 мм) с «наклееным» на него порошком карбоната бария.

В настоящее время для цементации применяют карбюризатор, состоящий из древесного угля, углекислого бария, воды и картофельного крахмала. В его производстве используют товарный древесный уголь.

Состав карбюризаторов и показатели их свойств

Показатели	Норма по ГОСТ 2407-64	Значение показателей для образцов с различным количеством добавок, %					
		ПВАД		ПВА		Сольвар	
		1,0	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Массовая доля, %:							
а) влаги при отправке потребителю (не более)	4,0	2,6	2,4	2,4	2,4	2,3	2,5
б) углекислого бария (в пределах)	20+2	20	22	22	22	21	22
в) углекислого кальция (не более)	2,00	1,49	1,56	1,53	1,58	1,48	1,54
г) общей серы (не более)	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05
д) кремниевой кислоты в пересчете на диоксид							
е) кремния (не более)	0,30	0,17	0,20	0,15	0,15	0,20	0,20
ж) летучих веществ (не более)	10,0	6,6	8,6	7,4	8,4	7,9	8,5
з) посторонних примесей (не более)	0,50	...	...	...	...	...	...
Зернение, %, фракций с размером зерен, мм:							
> 3,5 (не более)	2,0	...	...	...	...	...	...
3,5...10,0 (не менее)	92,0	98,0	96,0	95,0	95,0	94,0	94,0
10,0...14,0 (не более)	6,0	2,0	4,0	5,0	3,0	4,0	4,0

Процесс получения карбюризатора с картофельным крахмалом включает операции приготовления клейстера из крахмала, смешения его с углекислым барием, нанесения полученной смеси на товарный раздробленный древесный уголь (фракция 4 ... 10 мм), сушки и прокалки при температуре 550 .. 650 °С.

Нами проведена работа по замене в производстве карбюризатора товарного древесного угля на древесноугольные отходы Сявского ЛХК и пищевого сырья (крахмала) на непищевой продукт – поливинилацетатную дисперсию (ПВАД), или поливинилацетат (ПВА), или сольвар (частично омыленный поливинилацетат).

Для замены исходного сырья и упрощения технологии получения карбюризатора исследовали смесь следующего состава: древесноугольная мелочь (100,0 %); ПВАД, или ПВА, или сольвар (1,0 ... 5,0 %); углекислый барий (13,5 ... 16,0 %); вода (14,8 ... 18,4 % по отношению к угольной мелочи).

Для получения предлагаемого карбюризатора смешивали ПВАД или его производные в виде водных растворов или эмульсий, содержащих 1 ... 5 % абс. сухого вещества, с углекислым барием, наносили полученную смесь на частицы древесноугольной мелочи и сушили при 120 °С. Данная технология проста, так как исключает стадию приготовления клейстера и

позволяет снизить температуру термообработки с 550 ... 650 до 120 °С, что способствует значительному сокращению энергозатрат на производство карбюризатора.

В таблице приведены характеристики карбюризаторов.

Как видно из таблицы, полученный нами карбюризатор полностью соответствует ГОСТ и может быть применен для цементации стали.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила 18.11.98

E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Kislitsyn, G.P. Grigoryuk
**Energy-efficient Method of Producing Carbonizer out
of Charcoal Wastes**

The charcoal carbonizer produced according to the new technology is shown to fully correspond to the GOST requirements and could be recommended for carbonization of steel ware.

УДК 630*867.5

Е.П. Кулагин, В.А. Войтович, А.Н. Кислицын, Г.П. Григорюк

**БРИКЕТЫ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ
ДЛЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ ПЕЧЕЙ**

Установлено, что производимые с новым связующим древесноугольные брикеты обладают высокими прочностью и содержанием летучих, низкой влажностью, позволяющими рекомендовать их для бытовых целей. Применение таллового пека в качестве связующего упрощает технологию получения брикетов, так как исключается стадия нагревания брикетной смеси перед прессованием и в два раза снижается количество вводимого связующего.

Из-за истощаемости ресурсов ископаемого топлива человечество возвращается к сжиганию древесины – возобновляемого источника первичной энергии.

Более эффективным способом использования энергетического потенциала древесины является не традиционное сжигание, а предварительный пиролиз, при котором образующиеся газообразные и жидкие продукты служат сырьем для лесохимической промышленности, а твердый продукт – древесный уголь – собственно топливом; его энергетически выгодней сжигать не в обычных печах, а в газогенераторных. Такие печи уже производят

в ряде стран как для промышленных, так и для бытовых целей. Наиболее удобный вид топлива для бытовых газогенераторных печей – угольные брикеты. В настоящее время их производят только из крупных (более 10 мм) фракций угля. В то же время на заводах, производящих и потребляющих древесный уголь, в больших количествах образуется угольная мелочь, которая пока является отходом.

Нами разработана технология изготовления топливных брикетов из угольной мелочи, особенностью которой является то, что в качестве связующего используется омыленный талловый пек – остаток от ректификации таллового масла, представляющий собой высокомолекулярный продукт, включающий нейтральные и окисленные вещества, смоляные и жирные кислоты.

Брикеты готовили следующим образом. Омыленный талловый пек (10 %) растворяли в воде (40 %), смешивали с измельченными древесно-угольными отходами и полученную брикетную смесь прессовали под давлением $19,6 \cdot 10^6$ Па в холодном состоянии. Сырые брикеты сушили при температуре 120 °С и прокаливали при 450 °С.

Характеристика брикетов приведена в таблице.

Показатели	Значения показателей для брикетов	
	сухих	прокаленных
Плотность, г/см ³	0,85	0,74
Массовая доля, %:		
влаги	2,6...3,1	0,7...1,5
зола	1,8...2,8	1,9...3,8
летучих веществ	15,2...21,0	1,9...3,2
нелетучего углерода	76,2...83,0	93,0...96,2
Прочность на сжатие, Н/м ²	$6,5 \cdot 10^6$	$8,5 \cdot 10^6$

Как видно из таблицы, брикеты обладают высокой плотностью, малым содержанием влаги, небольшой зольностью, высоким содержанием нелетучего углерода и большой прочностью на сжатие. Получение таких брикетов дает возможность использовать отходы древесного угля и не находящего большого применения таллового пека, упростить технологию получения брикетов (отпадает операция нагревания брикетной смеси перед прессованием до 110 ... 120 °С), уменьшить в 2 раза содержание связующего и получить прочные брикеты.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила 18.11.98

E.P. Kulagin, V.A. Voitovich, A.N. Kislitsyn, G.P. Grigoryuk
Briquets of Charcoal Wastes for Gas-producer Furnaces

It has been found out that charcoal briquets produced with new binder possess high strength, volatile-matter content and low moisture content that allows recommending their

application for household duties. Using the tall pitch as binder simplifies the briquet producing technology as the stage of briquet mix heating is excluded before pressing and the amount of introduced binder is reduced twice.

УДК 547.992.3

Н.С. Горбова, К.Г. Боголицын, Д.С. Косяков

Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области теории растворов физикохимии редокс-систем в водно-спиртовых растворах.



РАЗРАБОТКА ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТ ИОНИЗАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИГНИНА В ДМСО И ЕГО СМЕСЯХ С ВОДОЙ

Разработана методика потенциометрического определения констант ионизации модельных соединений структурного звена лигнина в смешанном растворителе диметилсульфоксид – вода.

Известно, что диметилсульфоксид (ДМСО) и его смеси с водой обладают высокой растворяющей способностью по отношению к лигнинам и широко используются в современных технологиях делигнификации древесины. В связи с этим особую важность приобретают исследования, направленные на изучение поведения лигнина и родственных ему веществ в ДМСО и влияния ДМСО на их реакционную способность.

Несмотря на то, что в литературе описано несколько методов определения рН в неводных растворителях, практическое распространение получили только индикаторный и потенциометрический методы [3].

Суть индикаторного метода заключается в экспериментальном (как правило, фотометрическом) определении соотношения концентраций поразному окрашенных форм кислотно-основного индикатора в исследуемом растворе и дальнейшем расчете величины рН:

$$\text{pH} = \text{pK}_{\text{ind}} + \lg \frac{[\text{Ind}^-]}{[\text{HInd}]}, \quad (1)$$

где pK_{ind} – показатель константы диссоциации индикатора;
 $[\text{Ind}^-]$ и $[\text{HInd}]$ – концентрации основной и кислой форм индикатора.

Потенциометрический метод основан на измерении ЭДС гальванического элемента с индикаторным электродом, обладающим водородной функцией. В качестве такого электрода могут быть использованы сурьмяный, хингидронный, водородный и стеклянный [5].

Следует отметить, что оба упомянутых метода дают так называемое инструментальное значение рН раствора, отличное от истинного показателя термодинамической активности протона a_{H^+} . В первом случае это обусловлено использованием в расчетах концентраций форм индикатора вследствие неизвестности их коэффициентов активности в данной среде; во втором – неопределенностью величин диффузионного и межфазного потенциалов электролитического соединения гальванических полуэлементов, содержащих различные растворители.

В то же время анализ литературных данных показывает, что для ДМСО и его смесей с водой наиболее предпочтительным является потенциометрический метод со стеклянным электродом. Так, известно [9], что стеклянный электрод сохраняет линейную водородную функцию в самом широком диапазоне рН даже в чистом ДМСО несмотря на сильное дегидратирующее действие последнего, обладает малым временем отклика, обеспечивает высокую точность и воспроизводимость результатов в изучаемых нами средах.

Для определения концентрационной константы автопротолиза pK_a использовали метод потенциометрического титрования со стеклянным электродом [4, 10]. Содержание воды в ДМСО определяли по плотности и температуре замерзания [14]; при необходимости избыток воды отгоняли в вакууме (давление 12 мм рт. ст., температура 50 °С) в присутствии гидроксида натрия с последующей перегонкой ДМСО.

В качестве объекта исследования использовали феруловую кислоту, которая была тщательно очищена перекристаллизацией, чистота ее проверена спектроскопическими (в УФ- и ИК-областях спектра) и хроматографическим (хроматограф «Милихром-1», колонка КАХ-1) методами. Для работы готовили 0,01 М раствор феруловой кислоты в соответствующем растворителе. В качестве титранта использовали 1М раствор гидроксида натрия в средах, содержащих не более 60 масс. % ДМСО, или 1М раствор гидроксида тетраэтиламмония (ГТЭА) в средах, содержащих более 60 масс. % ДМСО.

В предварительных экспериментах нами было установлено, что при концентрациях ДМСО в смешанном растворителе ниже 70 % результаты титрований не зависят от вида используемой щелочи. Применение тетраэтиламмониевых оснований в качестве титрантов в средах с высоким содержанием органического соразтворителя обусловлено двумя основными причинами – их полной диссоциацией и высокой растворимостью даже в безводном ДМСО [8], а также невозможностью внедрения крупных органических катионов в структуру электродного стекла, что практически исключает возникновение щелочной ошибки стеклянного электрода при $pH > 14$ [9].

Титрование осуществляли в атмосфере аргона при постоянном перемешивании в стеклянной термостатированной ячейке. Температура тит-

рования ($25,0 \pm 0,1$) °С. В качестве индикаторного электрода использовали стеклянный электрод марки ЭСЛ–63–07, характеризующийся повышенной устойчивостью в сильнощелочных средах и малой чувствительностью к катионам металлов. Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод ЭВЛ–1–МЗ, заполненный насыщенным раствором КСl в воде.

В технике потенциометрического измерения рН в неводных растворах центральной является проблема калибровки электродной системы. Она связана с невозможностью теоретического предсказания величин диффузионного и межфазного потенциалов на границе водный электрод сравнения – исследуемый раствор. Вследствие этого кажется очевидной необходимость настройки рН-метра по буферным стандартам в конкретном используемом растворителе с известным значением p_{H^+} . Однако для большинства апротонных растворителей и их смесей с водой еще не установлены буферные стандарты в широком диапазоне составов растворителя и рН. Так, для водных растворов ДМСО наиболее полными являются данные [2]. Такое положение обусловлено как высокой трудоемкостью проведения измерений в элементах без переноса, так и необходимостью введения различных нетермодинамических допущений для энергий сольватации отдельных ионов при расчете кислотности буферного раствора относительно стандарта в данном растворителе [1].

Исходя из вышеизложенного, нами использован другой подход к настройке рН-метра и электродной системы. Он основывается на эмпирически установленном различными исследователями факте хорошей воспроизводимости величины потенциала жидкостного соединения и независимости ее от конструкции солевого мостика [5], т. е. для каждого конкретного состава смешанного растворителя должна существовать определенная поправка на величину межфазного потенциала, введение которой позволит при измерении кислотности неводных растворов использовать иономер, откалиброванный по водным стандартам, и электродную систему, включающую водный электрод сравнения.

В работах [3, 12] двумя независимыми методами для водных растворов ДМСО определены значения поправок δ , представляющих собой сумму разности стандартных потенциалов водородного электрода в воде и смешанном растворителе и жидкостного потенциала на границе раздела неводный раствор – солевой мост (табл. 1):

$$\delta = \Delta E_{0(\text{H}_2)}^{\text{H}_2\text{O-S}} + \Delta E_j^{\text{H}_2\text{O-S}}. \quad (2)$$

Таким образом, измерив инструментальную величину рН в неводном растворителе при помощи прибора, настроенного по водным образцовым буферным стандартам, можно рассчитать кислотность, отнесенную к стандартному состоянию в данном растворителе, p_{H^+} :

$$p_{\text{H}^+}^{\text{S}} = \text{pH} - \delta. \quad (3)$$

Таблица 1

Значения поправок δ для системы ДМСО–вода

С _{дмсо} , масс. %	δ		С _{дмсо} , масс. %	δ	
	мВ	ед. рН		мВ	ед. рН
10	1,7	0,03	60	34,0	0,58
20	5,0	0,09	70	46,0	0,78
30	10,6	0,18	80	48,5	0,82
40	17,2	0,29	90	46,0	0,78
50	23,0	0,39	100	31,0	0,52

Естественно, метод применим лишь при условии строгого соблюдения нернстовской функции стеклянного электрода во всем исследуемом диапазоне рН и составов растворителя. Проверка выполнения указанного условия должна осуществляться с использованием буферов в соответствующем неводном растворителе.

Правильность калибровки иономера контролировали ежедневно. С помощью иономера И-130, откалиброванного по свежеприготовленным из фиксаналов водным стандартным буферным растворам (фталатный, фосфатный, тетраборатный и гидроксид кальция), измеряли рН растворов в ходе титрования, погрешность измерения рН-метра составляла $\pm 0,02$ ед. рН.

Точку эквивалентности определяли графическим методом и получали значение инструментальной величины рН полунейтрализации ($\text{pH}_{1/2}$), как значение рН раствора в точке, соответствующей половине эквивалентного объема титранта.

Значения концентрационных констант автопротолиза pK_a определяли, вводя поправку на межфазный потенциал и энергию сольватации протона, по формуле

$$\text{pK}_a = \text{pH}_{1/2} - \delta, \quad (4)$$

где $\text{pH}_{1/2}$ – рН в точке полунейтрализации, ед. рН;

δ – поправка, учитывающая диффузионный потенциал и энергию переноса протона из воды в смешанный растворитель, ед. рН (табл. 1).

Во всех случаях производили не менее трех параллельных определений, статистическую обработку результатов осуществляли по известным методикам [6].

Для повышения достоверности полученных результатов определяли константу ионизации бензойной кислоты как стандарта с известной величиной pK_a в изучаемых средах [15]. Это позволило рассчитать константы автопротолиза модельных соединений структурного звена лигнина вторым независимым методом с использованием формулы Гендерсона [7]:

$$\text{pK}_{a(x)}^* = \text{pK}_{a(\text{HBz})} + \frac{E_{1/2(x)} - E_{1/2(\text{HBz})}}{0,059} = \text{pK}_{a(\text{HBz})} + \text{pH}_{1/2(x)} - \text{pH}_{1/2(\text{HBz})}, \quad (5)$$

где $\text{pK}_{a(\text{HBz})}$ – константа ионизации бензойной кислоты, ед. рН;

$E_{1/2(x)}$ и $E_{1/2(HBz)}$ – потенциал полунейтрализации для исследуемого вещества и бензойной кислоты, мВ;

$pH_{1/2(x)}$ и $pH_{1/2(HBz)}$ – pH в точке полунейтрализации для исследуемого вещества и бензойной кислоты, ед. pH.

Полученные нами значения констант ионизации pK_a феруловой кислоты в безводном ДМСО и его смесях с водой, а также рассчитанные по формуле Гендерсона представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения констант ионизации феруловой кислоты для системы ДМСО–вода при температуре 25 °С

С _{дмсо} , масс. %	pK_a	pK_a^*	pK_a	pK_a^*
	(-COOH)		(-OH) _{фен}	
0	4,43	4,43	9,15	9,15
14	4,56	4,70	9,28	9,30
25	4,83	4,95	9,37	9,42
32	5,02	5,23	9,82	10,01
39	5,19	5,33	10,17	10,31
48	5,59	5,69	10,70	10,80
60	6,26	6,34	11,30	11,38
68	6,72	6,80	11,75	11,83
80	7,63	7,70	12,28	12,35
90	9,32	9,35	14,21	14,24
100	11,43	11,41	15,88	15,86

Близость полученных нами величин pK_a феруловой кислоты для водных растворов к литературным данным ($pK_a^{-COOH} = 4,52$; $pK_a^{-OH} = 9,15$ [11]) свидетельствует о корректности использованных нами методик.

Кроме того, следует отметить достаточно хорошую сходимость результатов, полученных двумя методами – путем введения поправок к измеренной величине pH и с использованием стандартного вещества по методу Гендерсона. Так, наиболее заметное расхождение (не более 0,2 ед.) отмечено лишь для растворов с концентрацией ДМСО около 30 масс. %, что не превышает допустимой погрешности определения в средах с большим ДМСО. По нашему мнению, имеющиеся различия не очень существенны, учитывая сильную зависимость протолитических свойств фенольных и карбоксильных групп от состава смешанного растворителя и необходимость введения определенных допущений при проведении потенциометрических измерений в неводных системах.

Полученные данные показывают, что при переходе от водных к диметилсульфоксидным растворам сила феруловой кислоты значительно снижается (константы кислотной ионизации уменьшаются на 6-7 порядков). Это означает, что в средах с большим содержанием ДМСО неионизированная форма кислоты оказывается относительно более стабилизированной энергетически за счет проявления сольватационных эффектов.

Выводы

1. Разработана методика потенциометрического определения констант ионизации модельных соединений структурного звена лигнина в смешанном растворителе ДМСО–вода.
2. Установлено, что значения pK_a феруловой кислоты увеличиваются с ростом содержания ДМСО в смешанном растворителе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.В. Кислотность неводных растворов. – Харьков: Виша шк., 1981. – 152 с.
2. Александров В.В., Спирина С.В. Буферные растворы в диметилсульфоксиде и его смесях с водой // Журн. физ. химии. – 1974. – Т. 48, № 1. – С. 201–202.
3. Александров В.В., Спирина С.В. Использование водных стандартов для определения кислотности растворов в диметилсульфоксиде и его смесях с водой // Журн. физ. химии. – 1974. – Т. 48, № 2. – С. 505.
4. Альберт А., Сержент Е. Константы ионизации кислот и оснований / Пер. с англ. – М.: Мир, 1964. – 179 с.
5. Бейтс Р. Определение pH / Пер. с англ. – Л.: Химия, 1968. – 400 с.
6. Гордон А., Форд Р. Спутник химика // Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 541 с.
7. Ермакова М.И., Кирюшина М.Ф., Зарубин М.Я. Сравнение ОН-кислотности родственных лигнину фенолов в воде, спиртах и водно-спиртовых смесях // Химия древесины. – 1984. – № 5. – С. 23–29.
8. Королев Б.А., Левандовская Т.В., Горелик М.В. Потенциометрическое определение констант ионизации слабых кислот и установление шкалы pH в диметилсульфоксиде. Сольватация ионов органических кислот разных классов в диметилсульфоксиде и воде // Журн. общей химии. – 1978. – Т. 48, вып. 1. – С. 157–164.
9. Корыта И., Штулик К. Ионоселективные электроды / Пер. с чешск. – М.: Мир, 1989. – 272 с.
10. Крешков А.П., Быкова Л.Н., Казарян Н.А. Кислотно-основное титрование в неводных растворах. – М.: Химия, 1967. – 192 с.
11. Мелькис А.А., Закис Г.Ф., Мекша М.Н. Кислотно-основное титрование окси- и кетокарбонновых кислот и фенолов, родственных лигнину и его окисленным производным // Химия древесины. – 1983. – № 1. – С. 106–112.
12. Спирина С.В. Кислотность разбавленных растворов в системах пропанол-2–вода и диметилсульфоксид–вода: Автореф. дис. ... хим. наук. – Харьков, 1975. – 28 с.
13. Швабе К. Основы техники измерения pH. – М.: Госиноиздат, 1962. – 466 с.
14. Reddy T.B. The purification of dimethylsulphoxide for electrochemical experimentation // Pure and Applied Chemistry. – 1971. – Vol. 25. – P. 459–464.
15. Rodante F., Pistola G. Thermodynamic study of the water-DMSO system. Part 1. Features of the system: thermodynamics, linear free-energy relationship and ortho-effects of some substituted benzoic acids in the system // Thermochimica Acta. – 1985. – Vol. 83. – P. 213–223.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 15.03.2000 г.

N.S. Gorbova, K.G. Bogolitsyn, D.S. Kosyakov

Development of the Potentiometric Method for Determining Ionization Constants of Model Lignin Compounds in Dimethyl Sulphoxide and its Mixtures with Water

The technique has been developed for potentiometric estimation of the ionization constants for model compounds of the lignin structural link in the mixed solution of dimethyl sulphoxide - water.

УДК 533.601

Э.Н. Сабуров, Ю.Л. Леухин, С.И. Осташев

Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета, академик Российской и Международной инженерных академий, Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), Российской академии естественных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 300 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов тепломассообмена в аппаратах различного технологического назначения.



Осташев Сергей Иванович родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры теплотехники Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных трудов в области исследования аэродинамики и конвективного теплообмена в циклонных устройствах различного технологического назначения.



СОПРОТИВЛЕНИЕ ОРЕБРЕННОГО ШИПАМИ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА РЕКУПЕРАТИВНОГО УСТРОЙСТВА С ЦИКЛОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ЗАКРУТКИ ПОТОКА

Проанализированы результаты экспериментального исследования аэродинамики и сопротивления оребренного полыми шипами кольцевого канала рекуператора с циклонным генератором закрутки потока. Предложены удобные для практического использования уравнения для расчета сопротивления циклонных рекуперативных устройств и теплообменников подобного типа.

Одним из основных способов повышения эффективности работы рекуперативных устройств на предприятиях целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности является организация закрученного движения теплоносителя в их кольцевых каналах [2, 4, 5]. Однако, улучшая

теплоотдачу на внешней поверхности кольцевого канала, закрутка теплоносителя может привести к ее уменьшению на внутренней, что значительно снижает возможный общий эффект интенсификации процесса рекуперации. Особенно в тех случаях, когда теплопередающей поверхностью рабочего кольцевого канала служит его внутренняя поверхность.

Известно, что, воздействуя определенным образом на течение в пристенном пограничном слое или на общую турбулентность потока, можно добиться значительного увеличения теплоотдачи и на внутренней поверхности кольцевого канала [1, 3]. При этом важно знать за счет каких дополнительных затрат достигается интенсификация теплопередачи и как при этом изменяется сопротивление устройства.

В статье приведены результаты исследования аэродинамики и сопротивления кольцевого канала с циклонным генератором закрутки, оребренного полыми шипами, которые установлены на его внутренней цилиндрической поверхности.

Исследования выполнены на модели рекуператора (рис. 1). Модель состоит из кольцевой цилиндрической камеры 2, соединенной с кольцевым рабочим каналом 7.

Канал образован наружным 4 и внутренним 5 цилиндрами. Камера – полый гладкостенный металлический цилиндр с внутренним диаметром 259 мм и длиной 126,5 мм, воздух в который может подаваться радиально через патрубок 3 или тангенциально через шлиц 1. В первом случае камера является ресивером, во втором – закручивателем (генератором закрутки) потока – плоской циклонной камерой с односторонним вводом потока. Внутренние размеры шлица и патрубка одинаковы и равны 35×70 мм (большой размер вдоль образующей цилиндра). Наружный диаметр кольцевого канала $d_2 = 184$ мм, внутренний $d_1 = 2r_1 = 152$ мм.

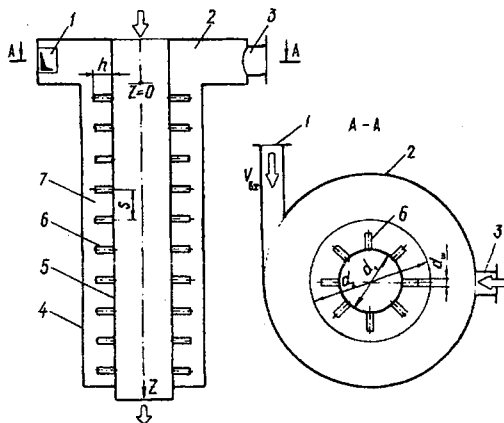


Рис. 1. Схематический чертеж модели рекуператора.

Аэродинамику кольцевого канала исследовали при различных вариантах коридорного расположения шипов 6 с одинаковыми продольным и поперечным шагами S . Варьируемые параметры шипов: диаметр $d_{ш}$, шаг расположения, количество n по периметру, диаметр отверстия в шипе $d_{от}$ (табл. 1). При любых рассмотренных S и n шипы были расположены равно-

* На этапах работы, связанных с постановкой задачи и предварительными опытами (в 1986–1987 гг.), участие принимали сотрудники ДАООТ «Промгаз» проф., докт. техн. наук Е.В. Крейнин и инж. В.В. Козырьков.

Таблица 1

Геометрические характеристики шипов и канала

Вариант	$d_{ш}, мм$	$S, мм$	$d_{от}, мм$	$S/d_{ш}$	$F/F_{гн}$	$n, шт.$	Обозначения
1	0,0	0,0	0	0,00	1,000	0	○
2	6,0	59,7	4	9,95	1,095	8	⊖
3	8,0	59,7	6	7,46	1,133	8	⊕
4	10,0	59,7	8	5,97	1,170	8	⊙
5	12,5	59,7	10	4,78	1,213	8	⊗
6	17,0	59,7	14	3,51	1,293	8	⦿
7	25,0	59,7	21	2,39	1,435	8	⦿
8	31,0	59,7	27	1,93	1,549	8	⦿
9	10,0	159,2	8	15,9	1,027	3	△
10	10,0	79,6	8	7,96	1,100	6	▲
11	10,0	39,8	8	3,98	1,383	12	▲
12	10,0	59,7	0	5,97	1,095	8	+
13	10,0	59,7	2	5,97	1,114	8	×
14	10,0	59,7	4	5,97	1,133	8	×
15	10,0	59,7	6	5,97	1,151	8	◇

Примечание. $F_{гн}$ – площадь внутренней поверхности неоребреного кольцевого канала, F – общая площадь внутренней оребренной поверхности.

мерно по внешнему периметру поперечного сечения внутренней трубы кольцевого канала. Высота шипов была постоянной (10 мм). Опыты выполнены в каждом варианте геометрических характеристик канала при тангенциальной и радиальной подаче воздуха.

На рис. 2 представлены профили безразмерной тангенциальной составляющей скорости потока \bar{w}_φ ($\bar{w}_\varphi = w_\varphi / V_{ср}$, где w_φ – размерная тангенциальная скорость, $V_{ср}$ – средняя скорость потока в канале) в сечениях кольцевого канала, расположенных вблизи закручивателя (при значении безразмерной координаты $\bar{z} = z / d_3 = 1,09$, где $d_3 = d_2 - d_1$) и у выходного торца канала (при $\bar{z} = 25,28$).

Координата z (см. рис. 1) отсчитывается от центра входного сечения внутренней трубы кольцевого канала в сторону выходного торца. Установка шипов на внутренней поверхности кольцевого канала оказывает влияние на характеристики вращающегося потока теплоносителя как в закручивателе, так и в канале. С увеличением диаметра шипов (рис. 2, а) и их количества (рис. 2, б) возрастает стесненность поперечного сечения канала и его сопротивление, что в совокупности с дополнительной турбулизацией потока, связанной с вихреобразованиями при их обтекании, приводит к более интенсивной его раскрутке по длине, чем в гладкостенном канале.

Так, при $d_{ш} = 31$ мм максимальная тангенциальная скорость уже на входе в канал снижается в 2,08 раза, а на выходе из него поток трансформи-

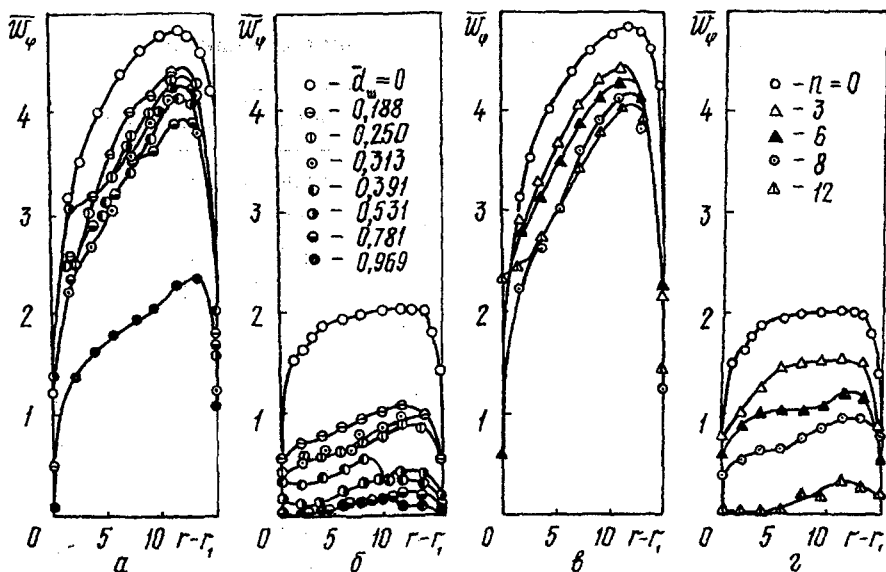


Рис. 2. Распределения тангенциальной скорости на входе и выходе из кольцевого канала при различных значениях $\bar{d}_{ш}$ (а, б) и n (в, г):
 $a, в - \bar{z} = 1,09; б, г - \bar{z} = 25,28$

руется в осевой. О снижении крутки вдоль канала можно судить по характеру изменения избыточного безразмерного статического давления $\bar{P}_{с.ст} = P_{с.ст} / \rho V_{ср}^2$ на внешней стенке (рис. 3).

С увеличением $d_{ш}$ возрастает $\bar{P}_{с.ст}$ на входе в канал как при осевом, так и при закрученном течении, а различие в значениях статического давления между ними с ростом \bar{z} уменьшается. При максимальных исследованных диаметрах шипов (25 и 31 мм) и $\bar{z} > 5 \dots 6$ они практически совпадают, что является следствием затухания там вращательного движения.

Общий коэффициент сопротивления рекуперативного устройства $\xi_{вх}$, пропорциональный перепаду полного давления ΔP_n ($\Delta P_n = P_{п.вх} - P_{п.вых}$ – разность пол-

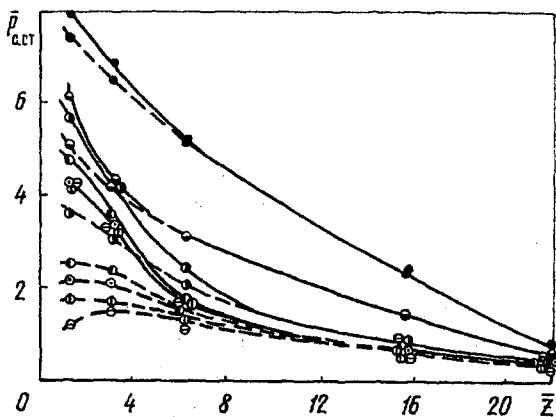


Рис. 3. Изменение безразмерного статического давления $\bar{P}_{с.ст}$ по длине \bar{z} внешней поверхности ошпорованного кольцевого канала (сплошные линии соответствуют закрученному течению, штриховые – осевому; обозначения приведены в табл. 1)

Таблица 2

Коэффициент сопротивления рекуперативного устройства и его составляющие при различных диаметре и числе шипов

Вариант	$\xi_{вх}$	$\xi_{вх}^3$	$\xi_{вх}^к$	$\xi_{вх}^{ввх}$
1	2,937	1,308	1,152	0,477
2	2,952	1,565	1,234	0,153
3	2,956	1,638	1,174	0,144
4	3,047	1,659	1,201	0,187
5	3,148	1,746	1,244	0,158
6	3,255	1,885	1,228	0,142
7	3,220	2,060	1,018	0,142
8	3,414	2,302	0,925	0,187
9	3,013	1,463	1,186	0,364
10	3,074	1,509	1,343	0,222
11	3,174	1,720	1,343	0,111
12	3,131	1,676	1,254	0,201
13	3,134	1,655	1,282	0,197
14	3,024	1,613	1,219	0,192
15	3,052	1,614	1,244	0,194

ных давлений потока на входе и выходе из рекуператора) можно представить в виде суммы коэффициентов сопротивления закручивателя $\xi_{вх}^3$, кольцевого канала $\xi_{вх}^к$ и на выходе из него $\xi_{вх}^{ввх}$. Их коэффициенты сопротивления определяли по формуле $\xi_{вх}^i = 2\Delta P_n^i / \rho V_{вх}^2$ (ΔP_n^i – перепад полного давления на участке, $V_{вх}$ – средняя скорость потока во входном шлице закручивателя).

В табл. 2 представлены значения коэффициентов сопротивления всего устройства и отдельных его участков при различных $d_{ш}$, n и $d_{от}$. С увеличением количества шипов и их диаметра происходит пропорциональное увеличение общего сопротивления рекуперативного устройства. Так, при $d_{ш} = 10$ мм и $n = 8$ общее сопротивление увеличивается по сравнению с гладкостенным каналом на 4 %, а при $d_{ш} = 31$ мм и $n = 8$ – на 16 %.

Установлено, что диаметр отверстия в шипе (опыты выполнены при $d_{ш}$ и h , равных 10 мм) практически не оказывает влияния на аэродинамические характеристики потока и сопротивление рекуперативного устройства. Влияние геометрии шипов на сопротивление в связи с перестройкой и раскруткой потока можно проанализировать по изменению сопротивления отдельных его участков.

Сопротивление циклонного закручивателя увеличивается с ростом количества шипов и их диаметра, что, вероятно, объясняется ухудшением условий стока закрученного потока в кольцевой канал с более высоким статическим давлением в его входном участке (рис. 3). Для расчета сопротивления закручивателя на основе полученных опытных данных можно рекомендовать уравнение

$$\xi_{вх}^3 / \xi_{вх.гл}^3 = 1 + 0,236 \bar{d}_{ш}^{0,76} n^{0,61}, \quad (1)$$

где $\xi_{\text{вх.гл}}^3$ – коэффициент сопротивления циклонного закручивателя при гладкой внутренней поверхности канала [1, 4];

$$\bar{d}_{\text{ш}} = d_{\text{ш}}/d_3.$$

Сопротивление канала зависит от параметров шипов более сложно. Перестройка потока приводит к перераспределению статического давления по его длине. С ростом $\bar{d}_{\text{ш}}$ и n увеличивается $\bar{P}_{\text{с.ст}}$ на входе в канал (рис. 3).

Коэффициент сопротивления канала сначала возрастает по сравнению с гладким при $\bar{d}_{\text{ш}} = 0,391 \dots 0,531$ (на 7 ... 8 %), а затем снижается и становится минимальным при $\bar{d}_{\text{ш}} = 0,967$ (на 20 % меньше гладкого). Увеличение количества шипов приводит к росту $\xi_{\text{вх}}^k$.

Сопротивление ошипованного кольцевого канала можно рассчитать по уравнению

$$\xi_{\text{вх}}^k / \xi_{\text{вх.гл}}^k = 1 + 0,0826n^{0,76} \bar{d}_{\text{ш}} (1 - 1,59 \bar{d}_{\text{ш}}), \quad (2)$$

где $\xi_{\text{вх.гл}}^k$ – коэффициент сопротивления канала без шипов [4].

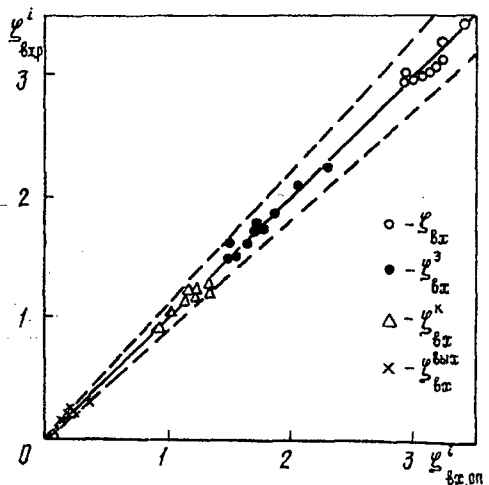
Выходная составляющая сопротивления определяется интенсивностью крутки потока в выходном отверстии. Как следует из опытных данных, в выходном сечении рекуперативного устройства $\bar{P}_{\text{с.ст}}$ меньше, чем в гладком канале, и слабо зависит от диаметра шипов (опыты выполнены при $n = 8$). Коэффициент сопротивления $\xi_{\text{вх}}^{\text{вых}}$ снижается с увеличением n и при $n = 8$ практически не зависит от диаметра шипов, оставаясь на 61 ... 70 % ниже выходной составляющей для гладкого канала $\xi_{\text{вх.гл}}^{\text{вых}}$ [4].

Для определения $\xi_{\text{вх}}^{\text{вых}}$ можно рекомендовать уравнение

$$\xi_{\text{вх}}^{\text{вых}} / \xi_{\text{вх.гл}}^{\text{вых}} = 1 + 0,52 n^{0,71} \bar{d}_{\text{ш}} (1 - 0,22 \bar{d}_{\text{ш}} - 1,06 \bar{d}_{\text{ш}}^{-0,5}). \quad (3)$$

Установлено, что доля закручивателя в общем сопротивлении рекуперативного устройства является наибольшей и увеличивается с ростом диаметра шипов и их количества. Так, для гладкостенного канала она составляет 44,6 % от $\xi_{\text{вх}}$, а для ошипованного (при $\bar{d}_{\text{ш}} = 0,969$) канала – 67,4 %. Для этих же условий доля сопротивления канала уменьшается с 39,3 до 27,1 %, а выходной составляющей – с 16,2 до 5,5 %.

Рис. 4. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных для суммарного коэффициента сопротивления и его составляющих



Для расчета общего сопротивления рекуперативного устройства может быть использована формула

$$\xi_{\text{вх}}/\xi_{\text{вх.гл}} = 1 + 0,022n \bar{d}_{\text{ш}}^{1,5}, \quad (4)$$

где $\xi_{\text{вх.гл}}$ – общий коэффициент сопротивления рекуперативного устройства без шипов [4].

Анализ опытных и расчетных данных (рис. 4) с учетом общего сопротивления (4) и его составляющих (1)–(3) показал их вполне удовлетворительное совпадение.

Выводы

1. Исследовано влияние оребрения полыми шипами внутренней поверхности кольцевого канала с циклонным генератором закрутки на его аэродинамику и сопротивление.

2. Установлено, что полученные уравнения могут быть использованы для расчета сопротивления циклонных рекуператоров и теплообменников циклонного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Движение газов в кольцевом канале с циклонным генератором закрутки / Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, С.И. Осташев и др. // Энергетика. – 1990. – № 7. – С. 62–67. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Лукьянов В.И. Исследование закономерностей течения и теплообмена закрученного потока воздуха в кольцевом канале // Вихревой эффект и его промышленное применение. – Куйбышев, 1981. – С. 62–67.

3. Конвективный теплообмен в кольцевом канале с циклонным генератором закрутки / Ю.Л. Леухин, Э.Н. Сабуров, С.И. Осташев и др. // Энергетика. – 1990. – № 9. – С. 86–90. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Сабуров Э.Н. Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1995. – 341 с.

5. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.

Архангельский государственный технический университет

Поступила 10.02.98

E.N. Saburov, Yu.L. Leukhin, S.I. Ostashev

Resistance of Pin-finned Annular Channel of Recuperative Device with Cyclone Generator of Flow Swirling

The results of experimental research of aerodynamics and resistance of annular channel finned with hollow pins are analyzed for the recuperative heat exchanger with cyclone generator of flow swirling. The easy-to-use equations for calculating the resistance of cyclone recuperative devices and heat exchangers of the similar type are suggested.

МАТЕРИАЛЫ, ПОСВЯЩЕННЫЕ 95-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА И.С. МЕЛЕХОВА

УДК 630*902

О.М. Соколов, Е.С. Романов

ИВАН СТЕПАНОВИЧ МЕЛЕХОВ

Среди крупных памятных дат, которыми отмечен конец уходящего века, достойное место занимает 95-летие со дня рождения И.С. Мелехова – одного из корифеев отечественной лесохозяйственной науки, получившего широкое признание и за рубежом.

Иван Степанович прошел долгий жизненный путь – 89 лет, и до конца дней его выдающиеся дарования несли свои плоды, служили науке, производству, просвещению, людям, славе России.

Перу И.С. Мелехова принадлежит более трехсот монографий, учебников, других научных трудов, публицистических материалов, мемуаров. Рядом с ними и под впечатлением о них уже сложилась и растет библиография трудов о творческом пути академика Мелехова*.

Уже в далеком 1934 г. И.С. Мелехов заведовал кафедрой лесоводства в Архангельском лесотехническом институте. С 1962 г. руководил такой же кафедрой в Московском лесотехническом институте и МГУЛеса, а некоторое время (1951–1952 гг.) и в Ленинградской лесотехнической академии. Скольким же студентам выпала удача слушать лекции этого выдающегося ученого и педагога! Счет, несомненно, пойдет на многие тысячи. А его учебники служат и поныне, останутся на почетном месте и в новом тысячелетии. Более 50 докторов и кандидатов наук оставил он своими преемниками.

Как ученый И.С. Мелехов живо откликался на самые острые проблемы. В начале своей научной карьеры он занялся древесиноведением, доказал, что сосна Европейского Севера по качеству превосходит сосну из центральных районов, и тем способствовал укреплению Севера как «валютного цеха страны». Затем шли исследования по лесным пожарам, сплошным механизированным рубкам, становившимся концентрированными, естественному и искусственному лесовозобновлению. Созданная проф. И.С. Мелеховым типология вырубков переросла в динамическую лесную типологию. По результатам этих исследований написаны монографии и учеб-

* См., в частности, «Список литературы о жизни и деятельности И.С. Мелехова» в «Лесном журнале» № 5–6 за 1994 г., с. 205, где первый источник относится к 1941 г., а последний к 1993 г.

ники: «Рубки главного пользования», «Лесоведение», «Лесная пирология», «Очерк развития науки о лесе в России» ... Каждый из этих трудов мог бы любому составить известность и славу крупного ученого. А какую неоценимую пользу принесли широчайшая эрудиция, логика и авторитет Ивана Степановича его аспирантам, докторантам, авторам статей (в пору его работы главным редактором «Лесного журнала»), участникам конгрессов и симпозиумов, где он выступал или руководил дискуссией! Ученик и последователь Г.Ф. Морозова, М.Е. Ткаченко и других ученых начала века, И.С. Мелехов донес до нас их высокую интеллигентность и культуру.

Для И.С. Мелехова были неразделимы педагогическая, научная, организаторская деятельность. В Архангельске, заведывая кафедрой в АЛТИ, он возглавлял Северный стационар, а затем Северное отделение Института леса АН СССР и ставший самостоятельным Институт леса и лесохимии АН СССР. В 1956 г. он был избран академиком ВАСХНИЛ. В 1962–1966 гг. И.С. Мелехов занимал пост заместителя председателя Государственного комитета по лесной, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей промышленности и лесному хозяйству Совета Министров СССР (позднее при Госплане СССР). С 1965 г. по 1971 г. он был академиком-секретарем Отделения лесоводства и агролесомелиорации ВАСХНИЛ и членом президиума академии. Тогда же он стал иностранным членом лесных академий и университетов Финляндии, Чехословакии, Швеции, Венгрии, активно участвовал во многих международных лесных конгрессах, симпозиумах, конференциях. За вклад в лесоводственную науку И.С. Мелехов удостоен Золотой медали им. Г.Ф. Морозова.

И.С. Мелехов был председателем ряда комитетов, экспертных комиссий, научно-технических советов (в том числе в Министерстве лесного хозяйства РСФСР в 1966–1967 гг. и Госкомлесхозе Совета Министров СССР в 1967–1980 гг.), членом редколлегий журналов «Лесное хозяйство», «Лесоведение», главным редактором «Лесного журнала», депутатом Верховного Совета СССР.

Невозможно перечислить все посты и должности, которые с успехом занимал доктор наук (с 1940 г.), профессор И.С. Мелехов. Орден Ленина, орден Октябрьской Революции, два ордена Трудового Красного Знамени – эти высочайшие награды СССР служат ярким свидетельством и наиболее концентрированным выражением разносторонних заслуг Ивана Степановича Мелехова.

Порою кажется невероятным, что так много нужного, важного, хорошего сделал один человек, даже прожив долгую жизнь. Но все, кто знал Ивана Степановича, с большим удовлетворением подтверждают это. С благодарностью вспоминая этого выдающегося человека и ученого, мы ценим его продолжающие жить идеи, приобщаем к ним новые поколения.

Архангельский государственный технический университет

O.M. Sokolov, E.S. Romanov
Ivan S. Melekhov

УДК 630*232.322.4:630*174.754

И.И. Степаненко

Степаненко Ирина Ивановна родилась в 1962 г., окончила в 1984 г. Московский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства и подсоски леса Московского государственного университета леса. Имеет 20 публикаций по вопросам анатомического строения древесины, повышения продуктивности лесных насаждений, лесной типологии.

**ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА**

Представлены результаты исследования влияния однократного внесения минеральных удобрений на макро- и микроструктуру древесины сосны обыкновенной. Выявлена зависимость анатомического строения древесины от типа леса, вида и дозы удобрений.

Лес – главное богатство, экономический потенциал, возобновляемый ресурс и будущее России. Это всегда отмечал известный ученый И. С. Мелехов. Одним из первых научных направлений, которым он занимался, было изучение свойств и качества древесины главных лесообразующих древесных пород [10–12]. Этому вопросу Иван Степанович уделял внимание в течение всей своей творческой деятельности. И.С. Мелехов, его ученики и последователи провели всесторонние исследования изменений строения, свойств и качества древесины лесных древесных пород под влиянием таких факторов, как климат, почвы, типы условий местопроизрастания и типы леса [1, 2, 10–12, 15], лесные пожары [13, 21], рубки главного пользования и ухода, лесосушительная мелиорация, внесение удобрений, подсоска леса, селекция деревьев [3, 8, 14, 25, 27], промышленные выбросы и др. [7]. В начале 30-х гг. [10] И. С. Мелеховым впервые была сформулирована и поставлена задача выращивания древесины заданных качеств и свойств, определения и создания для этого оптимальных (в том числе почвенно-климатических) условий. В настоящее время эта задача особенно актуальна в связи с увеличением спроса на древесину, получаемую при интенсивном лесовыращивании.

В мировой и отечественной практике при интенсивном лесовыращивании широко используют минеральные удобрения, которые вызывают значительные изменения в строении и качестве древесины. Имеющиеся на этот счет данные часто носят противоречивый характер [4–6, 17, 18, 22–24]. Во многих исследованиях не учитывались типы условий местопроизрастания, типы леса, возраст насаждений, классы роста и развития деревьев, другие показатели.

На кафедре лесоводства МГУЛ под руководством И.С. Мелехова изучалось влияние минеральных удобрений на лесные фитоценозы с учетом климатических условий, технологии внесения удобрений и ряда лесоводственных факторов: типов леса, возраста древостоев, классов Крафта.

Исследования проводили в подзоне южной тайги Костромской области в Чернолуховском лесхозе ВНИИХлесхоза в трех типах леса: сосняках брусничном, лишайниковом и долгомошном. Для сосняка брусничного характерны свежие условия произрастания (B_2), для лишайникового – сухие ($A_1 - B_1$), дерново-, средне- и слабоподзолистые песчаные почвы; для долгомошного – сырые условия произрастания (B_4), глеевые, слабо дренированные песчаные почвы. Изучаемые древостои имели следующие таксационные показатели. Сосняк брусничный: состав древостоя 10С, возраст 100 лет, класс бонитета I, средняя высота 28,7 м, средний диаметр 33,0 см, полнота 0,8, запас 370 м³. Сосняк лишайниковый соответственно: 10С+Б; 90 лет; II класс бонитета; 24,6 м; 29,3 см; полнота 0,8; 327 м³. Сосняк долгомошный: 9С1Б+Е; 70 лет; III класс бонитета; 19,1 м; 20,4 см; полнота 0,7; 212 м³.

При изучении анатомического строения древесины сосны использовали удобренные и неудобренные (контрольные) пробные площади, заложенные ВНИИХлесхозом в 1982 г. Удобрения в форме карбамида (46 % N), гранулированного суперфосфата (20 % P_2O_5) и хлористого калия (54 % K_2O) внесли вручную в мае 1982 г. В каждом типе леса с трехкратной повторностью испытывали четыре вида (N, P, K, NPK) по три дозы (100, 150, 200 кг/га д. в.) удобрений [9].

Для таксационной характеристики опытных участков, определения типов леса использовали принятые в лесоводстве методики [20, 26]. Модельные деревья подбирали по классификации Крафта из средних ступеней толщины каждого класса с учетом темпов роста деревьев до удобрения. Образцы древесины брали на высоте 1,3 м возрастным буровом.

Фиксацию образцов древесины, изготовление микропрепаратов выполняли по принятой в ботанической микротехнике методике [19]. Показатели макроструктуры (ширина годичного слоя (ШГС) с разделением на раннюю и позднюю зоны, числа слоев в 1 см) и микроструктуры древесины сосны (число рядов ранних и поздних трахеид, толщина их стенок и диаметры в радиальном и тангенциальном направлениях) измеряли на поперечных срезах образцов в основном с помощью микроскопа МБР-1 и шкалы окуляр-микрометра МОВ-1-15^x, а также использовали фотографии микропрепаратов. Длину трахеид измеряли с помощью анализатора длины волокон FS-100 после мацерации древесины.

Изучали период формирования древесины за 5 лет до удобрения (1977 – 1981 гг.) и за 6 лет после удобрения (1982 – 1987 гг.). Данные с удобренных участков сравнивали с контрольными (неудобренными) и за 5 лет до удобрения. Достоверность различий проверяли по t-критерию Стьюдента. Различия значимы при вероятности 0,95.

Таблица 1

**Влияние удобрений на макроструктуру древесины сосны
(в среднем за 6 лет) в разных типах леса**

Вариант опыта	Сосняк брусничный			Сосняк лишайниковый			Сосняк долгомошный		
	ШГС, мм	Процент поздней древесины	Число слоев в 1 см	ШГС, мм	Процент поздней древесины	Число слоев в 1 см	ШГС, мм	Процент поздней древесины	Число слоев в 1 см
Контроль	<u>0,553</u>	<u>33,6</u>	<u>18,90</u>	<u>0,583</u>	<u>35,6</u>	<u>17,41</u>	<u>1,349</u>	<u>40,8</u>	<u>7,63</u>
N 100	<u>0,978*</u>	<u>36,4</u>	<u>11,02*</u>	<u>0,827*</u>	<u>40,3*</u>	<u>12,43*</u>	<u>1,442</u>	<u>39,7</u>	<u>8,00</u>
N 150	<u>1,099*</u>	<u>42,2*</u>	<u>9,59*</u>	<u>0,931*</u>	<u>40,3*</u>	<u>11,82*</u>	<u>1,603*</u>	<u>41,7</u>	<u>6,31*</u>
N 200	<u>1,067*</u>	<u>40,4*</u>	<u>9,45*</u>	<u>0,875*</u>	<u>43,0*</u>	<u>11,82*</u>	<u>1,679*</u>	<u>36,6*</u>	<u>6,17</u>
(NPK) 100	<u>1,152*</u>	<u>43,7*</u>	<u>8,98*</u>	<u>0,670</u>	<u>35,9</u>	<u>12,15</u>	–	–	–
(NPK) 150	<u>1,080*</u>	<u>43,9*</u>	<u>10,03*</u>	<u>0,786*</u>	<u>32,8</u>	<u>15,19*</u>	<u>1,487</u>	<u>33,7*</u>	<u>6,85</u>
(NPK) 200	<u>1,205*</u>	<u>39,1*</u>	<u>8,81*</u>	<u>0,881*</u>	<u>39,1</u>	<u>13,05*</u>	–	–	–
P 100	<u>0,751*</u>	<u>37,6*</u>	<u>13,47</u>	<u>0,596</u>	<u>37,3</u>	<u>12,05</u>	–	–	–
P 150	<u>0,753*</u>	<u>37,2*</u>	<u>13,64</u>	<u>0,555</u>	<u>37,4</u>	<u>18,04</u>	<u>1,291</u>	<u>37,0</u>	<u>7,76</u>
P 200	<u>0,843*</u>	<u>39,3*</u>	<u>12,17*</u>	<u>0,638</u>	<u>42,0*</u>	<u>15,77</u>	–	–	–
K 100	<u>0,803*</u>	<u>38,3</u>	<u>12,87</u>	<u>0,502</u>	<u>35,6</u>	<u>21,03</u>	–	–	–
K 150	<u>0,835*</u>	<u>39,6*</u>	<u>12,20</u>	<u>0,568</u>	<u>36,7</u>	<u>17,81</u>	<u>1,297</u>	<u>42,5</u>	<u>7,83</u>
K 200	<u>0,955*</u>	<u>37,1</u>	<u>9,87*</u>	<u>0,475</u>	<u>32,1</u>	<u>23,42</u>	–	–	–
	<u>172,7</u>	<u>110,4</u>	<u>52,2</u>	<u>81,5</u>	<u>90,2</u>	<u>134,5</u>	–	–	–

Примечание. В числителе здесь и далее абсолютные значения признака, в знаменателе – процент от контроля. Звездочкой отмечены значения, для которых различие с контролем существенно с вероятностью 0,95 ($t_{\phi} > t_t$); $t_t = 2,1; 2,2$.

В статье представлены результаты исследований влияния удобрений на анатомическое строение древесины сосны по преобладающему в изучаемых древостоях II классу Крафта (37,0 ... 37,9 %). Размах ступеней толщины деревьев II класса Крафта составил: в сосняке брусничном 24 ... 40, лишайниковом 22 ... 44, долгомошном 12 ... 42 см.

Установлено, что во всех вариантах опыта удобрения вызывают различные изменения в анатомическом строении древесины сосны в зависимости от типа леса, вида и дозы удобрений. Наиболее эффективны удобрения в сосняке брусничном. В этом типе леса все виды и дозы удобрений способствовали увеличению радиального прироста (табл. 1). В большинстве вариан-

Таблица 2

Влияние удобрений на толщину стенок ранних (РТ) и поздних (ПТ) трахеид сосны (в среднем за 6 лет) в разных типах леса

Вариант опыта	Толщина стенок трахеид, мкм											
	Сосняк брусничный				Сосняк лишайниковый				Сосняк долгомошный			
	РТ		ПТ		РТ		ПТ		РТ		ПТ	
	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.
Контроль	2,30	2,20	5,40	7,90	2,20	2,10	5,10	7,45	2,30	2,10	5,60	7,30
N 100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	2,55	2,45	5,75	8,00	2,35	2,25	5,70	8,45*	2,45	2,35*	6,05	8,10
	110,9	111,4	106,5	101,3	106,8	107,1	111,8	113,4	106,5	111,9	108,0	111,0
N 150	2,30	2,30	6,00*	8,50	2,25	2,25	5,65	8,50*	2,50*	2,35*	6,55*	8,20*
	100,0	104,6	111,1	107,6	102,3	107,1	110,8	114,1	108,7	111,9	117,0	112,3
N 200	2,35	2,40	5,90*	8,70*	2,20	2,15	5,55	7,35	2,38	2,10	6,00	7,35
	102,2	109,1	109,3	110,1	100,0	102,4	108,8	98,7	103,5	100,0	107,1	100,7
(NPK) 100	2,45	2,55*	6,10*	8,15	2,40*	2,30*	5,45	8,30	-	-	-	-
	106,5	115,9	113,0	103,2	109,1	109,5	106,9	111,4	-	-	-	-
(NPK) 150	2,60*	2,50*	6,20*	8,15	2,30	2,25	5,30	8,35	2,57*	2,32*	6,45*	7,65
	113,0	113,6	114,8	103,2	104,5	107,1	103,9	112,1	111,7	110,5	115,2	104,8
(NPK) 200	2,50*	2,60*	6,20*	8,00	2,10	2,20	5,35	7,85	-	-	-	-
	108,7	118,2	114,8	101,3	95,4	104,8	104,9	105,4	-	-	-	-
P 100	2,50*	2,55*	6,15*	8,60*	2,20	2,05	4,65	7,95*	-	-	-	-
	108,7	115,9	113,8	108,9	100,0	97,6	91,2	106,7	-	-	-	-
P 150	2,50	2,45	5,90	8,70	2,25	2,15	5,70	8,50*	2,40*	2,15	6,50*	7,80
	108,7	111,4	109,3	110,1	102,3	102,4	111,8	114,1	104,3	102,4	116,1	106,8
P 200	2,40	2,30	6,00*	8,85*	2,40	2,40*	5,80*	8,55*	-	-	-	-
	104,3	104,5	111,1	112,0	109,1	114,3	113,7	114,8	-	-	-	-
K 100	2,55*	2,60*	6,05*	8,80*	2,30	2,25	5,45	8,40*	-	-	-	-
	110,9	118,2	112,0	111,4	104,5	107,1	106,0	112,7	-	-	-	-
K 150	2,50	2,45*	6,00*	8,75*	2,35	2,30*	5,60	8,40*	2,55*	2,30*	6,05	8,10*
	108,7	111,4	111,1	110,8	106,8	109,5	109,8	112,7	110,9	109,5	108,0	111,0
K 200	2,50	2,55	5,90	8,47*	2,45*	2,35*	5,50	8,60*	-	-	-	-
	108,7	115,9	109,3	107,2	111,4	111,9	107,8	115,4	-	-	-	-

* Различие с контролем существенно с вероятностью 0,95 ($t_{\phi} > t_t$), $t_t = 2,3; 2,4$.

тов опыта положительные изменения в показателях макроструктуры сопровождались улучшением показателей микроструктуры древесины (табл. 1 – 4). Оптимальными были азотные и полные удобрения, особенно в дозах 150 и 200 кг/га д. в. Общее число рядов трахеид в годичном слое возросло примерно в 2 раза, особенно поздних, что вызвало повышение ШГС в 2 раза и более и дали поздней древесины на 8,3 ... 30,7 % (табл. 1), формирование равномерных годичных слоев с оптимальным их содержанием в 1 см [16], увеличение диаметра, толщины стенок и длины трахеид. Под влиянием полных удобрений возросли: толщина стенок поздних трахеид в радиальном направлении на 13,0 ... 14,8 % и ранних в тангенциальном направлении на 13,6 ... 18,2 % (табл. 2); тангенциальные диаметры ранних и поздних трахеид

Таблица 3

Влияние удобрений на диаметр ранних (РТ) и поздних (ПТ) трахеид сосны
(в среднем за 6 лет) в разных типах леса

Вариант опыта	Диаметр трахеид, мкм											
	Сосняк брусничный				Сосняк лишайниковый				Сосняк долгомошный			
	РТ		ПТ		РТ		ПТ		РТ		ПТ	
	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.	рад.	танг.
Контроль	39,5	34,2	21,3	31,8	38,0	33,9	20,5	32,2	37,2	33,6	23,9	33,6
N 100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	40,8	36,5*	22,1	33,6*	39,2	34,5	23,4*	33,9	40,1	35,7	24,0	33,6
N 150	103,3	106,7	103,8	105,7	103,2	101,8	114,1	105,3	107,8	106,3	100,4	100,0
	38,2	35,7	22,5	33,5*	39,1	35,4	22,0	34,1	40,7	36,4	25,6	33,8
N 200	96,7	104,4	105,6	105,3	102,9	104,4	107,3	105,9	109,4	108,3	107,1	100,6
	38,6	36,9*	22,5	35,1*	37,4	34,9	22,1	33,5	41,1*	33,3	24,8	33,9
(NPK) 100	97,7	107,9	105,6	110,4	98,4	102,9	107,8	104,0	110,5	99,1	103,8	100,9
	38,9	36,1*	23,3*	32,7	38,3	35,4*	19,7	33,2	-	-	-	-
(NPK) 150	98,5	105,6	109,4	102,8	100,8	104,4	96,1	103,1	-	-	-	-
	39,1	35,5*	23,6*	33,9*	40,4	35,5	20,2	34,4	39,6	35,2	24,4	34,9
(NPK) 200	99,0	103,8	110,8	106,6	106,3	104,7	98,5	106,8	106,4	104,8	102,1	103,9
	38,6	37,0*	22,9*	34,7*	38,6	37,6*	20,9	33,7	-	-	-	-
P 100	97,7	108,2	107,5	109,1	101,2	110,9	101,9	104,7	-	-	-	-
	42,8*	37,4*	24,0*	35,0*	36,1	33,0	18,1	32,6	-	-	-	-
P 150	108,3	109,4	112,7	110,1	95,0	97,3	88,3	101,6	-	-	-	-
	40,0	35,0	21,9	32,9	39,8	36,2*	22,2	34,9	37,5	34,4	24,6	34,0
P 200	101,3	102,3	102,8	103,5	104,7	106,8	108,3	108,4	100,8	102,4	102,9	101,2
	37,7	35,5	21,7	34,8*	38,5	36,1	23,3*	34,0*	-	-	-	-
K 100	95,4	103,8	101,9	109,4	101,3	106,5	113,7	105,6	-	-	-	-
	39,2	35,0	21,7	32,8	37,7	34,1	23,5*	33,1	-	-	-	-
K 150	99,2	102,3	101,9	103,1	99,2	100,6	114,6	102,8	-	-	-	-
	41,0	34,9	23,8	34,0*	38,3	34,5	23,2*	32,8	-	-	-	-
K 200	103,8	102,0	111,7	106,9	100,8	101,8	113,2	101,9	-	-	-	-
	40,4	36,6*	23,6*	33,7	38,3	36,6*	19,0	33,9	38,5	34,9	25,2	33,9
	102,3	107,0	110,8	106,0	100,8	108,0	92,7	105,3	103,5	103,9	105,4	100,9

* Различие с контролем существенно с вероятностью 0,95 ($t_{\phi} > t_t$), $t_t = 2,3; 2,4$.

на 3,8 ... 9,1 %, радиальный диаметр поздних трахеид на 9,4 ... 10,8 % (табл. 3), длина ранних на 8,4 %, поздних на 10,1 % (табл. 4). Внесение азотных удобрений способствовало увеличению диаметра поздних трахеид в тангенциальном направлении на 5,3...10,4 % (см. табл. 3); N150, N200 – утолщению их стенок на 9,3...11,1 % (см. табл. 2), а также удлинению ранних трахеид на 6,5 % (N200), поздних на 7,3 % (N150) и 8,0 % (N200) по сравнению с контролем (табл. 4). Влияние удобрений на поперечные размеры трахеид проявлялось на второй год, на длину – в первый год после их внесения и продолжалось пять лет.

В сосняке лишайниковом изменения в анатомических показателях древесины сосны были неоднозначными. Положительно повлияли на

Таблица 4

**Влияние удобрений на длину ранних (РТ) и поздних (ПТ)
трахеид сосны в разных типах леса**

Вариант опыта	Длина трахеид, мм									
	за годы после удобрения						средняя			
	1986		1984		1982		после удобрений (за 5 лет)		до удобрений (за 5 лет)	
	РТ	ПТ	РТ	ПТ	РТ	ПТ	РТ	ПТ	РТ	ПТ
Сосняк брусничный										
Контроль	<u>2,57</u>	<u>2,85</u>	<u>2,59</u>	<u>2,82</u>	<u>2,71</u>	<u>2,50</u>	<u>2,62</u>	<u>2,86</u>	<u>2,58</u>	<u>2,82</u>
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
N 100	<u>2,83*</u>	<u>3,04*</u>	<u>2,67*</u>	<u>3,06*</u>	<u>2,49*</u>	<u>2,94</u>	<u>2,66</u>	<u>3,01</u>	<u>2,53</u>	<u>2,94</u>
	110,1	106,7	103,1	108,5	91,9	101,4	101,5	105,2	98,1	104,3
N 150	<u>2,41*</u>	<u>3,01*</u>	<u>2,81*</u>	<u>3,17*</u>	<u>2,69</u>	<u>3,03</u>	<u>2,64</u>	<u>3,07*</u>	<u>2,84</u>	<u>2,65</u>
	93,8	105,6	108,5	112,4	99,3	104,5	100,8	107,3	110,1	94,0
N 200	<u>2,62</u>	<u>3,02*</u>	<u>2,90*</u>	<u>3,21*</u>	<u>2,85*</u>	<u>3,03</u>	<u>2,79*</u>	<u>3,09*</u>	<u>2,63</u>	<u>2,98</u>
	101,9	106,0	112,0	113,8	105,2	104,5	106,5	108,0	101,9	105,7
(NPK) 200	<u>2,77</u>	<u>3,09*</u>	<u>2,97*</u>	<u>3,12*</u>	<u>2,79</u>	<u>3,25*</u>	<u>2,84*</u>	<u>3,15*</u>	<u>2,57</u>	<u>2,61**</u>
	107,8	108,0	114,7	110,6	102,9	112,1	108,4	110,1	99,6	92,6
P 200	<u>2,57</u>	<u>3,03*</u>	<u>2,63</u>	<u>3,09*</u>	<u>2,37*</u>	<u>3,13</u>	<u>2,52*</u>	<u>3,08*</u>	<u>2,53</u>	<u>3,09**</u>
	100,0	106,3	101,5	109,6	87,5	107,9	96,2	107,7	98,1	109,6
K 200	<u>2,84*</u>	<u>3,22*</u>	<u>2,95*</u>	<u>3,26*</u>	<u>2,75*</u>	<u>3,28*</u>	<u>2,85*</u>	<u>3,25*</u>	<u>2,87**</u>	<u>3,27**</u>
	110,5	113,0	113,9	115,6	101,5	113,1	108,8	113,6	112,2	116,0
Сосняк лишайниковый										
Контроль	<u>2,85</u>	<u>3,42</u>	<u>2,72</u>	<u>2,84</u>	<u>2,50</u>	<u>2,97</u>	<u>2,69</u>	<u>3,08</u>	<u>2,63</u>	<u>2,98</u>
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
N 200	<u>2,57</u>	<u>3,10</u>	<u>2,49</u>	<u>3,09*</u>	<u>2,79*</u>	<u>2,95</u>	<u>2,62</u>	<u>3,05</u>	<u>2,69</u>	<u>3,05</u>
	90,2	90,6	91,5	108,8	111,6	99,3	97,4	99,0	102,3	102,3
(NPK) 200	<u>2,32*</u>	<u>2,97*</u>	<u>2,79</u>	<u>3,57*</u>	<u>2,61*</u>	<u>3,03</u>	<u>2,57</u>	<u>3,19*</u>	<u>2,97**</u>	<u>3,44**</u>
	81,4	86,8	102,6	125,7	104,4	102,0	95,5	103,6	112,9	115,4
P 200	<u>2,88</u>	<u>3,32</u>	<u>2,81</u>	<u>3,26*</u>	<u>2,84*</u>	<u>3,32*</u>	<u>2,84*</u>	<u>3,30*</u>	<u>2,49**</u>	<u>3,03</u>
	101,0	97,1	103,3	114,8	113,6	111,8	105,6	107,1	94,7	101,8
K 200	<u>2,61*</u>	<u>2,59*</u>	<u>2,53*</u>	<u>2,99*</u>	<u>2,21*</u>	<u>2,87*</u>	<u>2,45*</u>	<u>2,82*</u>	<u>2,59</u>	<u>3,08</u>
	91,6	75,7	93,0	105,3	88,4	96,6	91,1	91,6	98,5	103,4
Сосняк долгомошный										
Контроль	<u>2,47</u>	<u>3,32</u>	<u>2,87</u>	<u>3,30</u>	<u>2,76</u>	<u>3,32</u>	<u>2,70</u>	<u>3,31</u>	<u>2,61</u>	<u>3,12</u>
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
N 200	<u>2,78*</u>	<u>3,36</u>	<u>2,87</u>	<u>3,43*</u>	<u>2,85</u>	<u>3,26</u>	<u>2,83*</u>	<u>3,35</u>	<u>2,64</u>	<u>3,27**</u>
	112,6	101,2	100,0	103,9	103,3	98,2	104,8	101,2	101,1	104,8
(NPK) 150	<u>2,92*</u>	<u>3,26</u>	<u>2,77</u>	<u>3,33</u>	<u>2,67</u>	<u>3,28</u>	<u>2,79</u>	<u>3,29*</u>	<u>2,56</u>	<u>3,13</u>
	118,2	98,2	96,5	100,9	96,7	98,8	103,3	99,4	98,1	100,3
P 150	<u>2,64*</u>	<u>3,24</u>	<u>2,61*</u>	<u>3,23</u>	<u>2,65*</u>	<u>3,32</u>	<u>2,63</u>	<u>3,26</u>	<u>2,65</u>	<u>3,17</u>
	106,9	97,6	90,9	97,9	96,0	100,0	97,4	98,5	101,5	101,6
K 150	<u>2,57</u>	<u>3,23</u>	<u>2,85</u>	<u>3,43</u>	<u>2,67</u>	<u>3,29</u>	<u>2,70</u>	<u>3,32</u>	<u>2,74**</u>	<u>3,22</u>
	91,6	75,7	93,0	105,3	88,4	96,6	91,1	91,6	98,5	103,4

* Различие с контролем существенно с вероятностью 0,95 ($t_{\phi} > t_{\tau}$), $t_{\tau} = 2,2$.

** Различие в значениях признаков до и после удобрения существенно с вероятностью 0,95 ($t_{\phi} > t_{\tau}$), $t_{\tau} = 2,2$.

макро- и микроструктуру годичных слоев азотные удобрения во всех дозах, особенно N150 и N200. Они способствовали формированию более широких годичных слоев (на 41,9 ... 59,7 % по сравнению с контролем) в результате увеличения в них общего числа рядов трахеид, в большей степени за счет поздних. Это привело к повышению процента поздней древесины на 13,2 ... 20,8 и снижению числа слоев в 1 см до оптимального значения (см. табл. 1). Азотные удобрения (N100, N150) вызвали тангенциальное утолщение стенок поздних трахеид на 13,4 ... 14,1 %, а N100 – увеличение их радиального диаметра на 14,1 %, но не повлияли на длину трахеид (см. табл. 2–4). Положительное влияние на структуру радиального прироста оказали удобрения P200. Толщина стенок ранних и поздних трахеид возросла на 13,7 ... 14,8 %, диаметр поздних на 13,7 %, длина ранних на 5,6 и поздних на 7,1 %. Внесение полных удобрений вызвало увеличение ШГС на 14,9 ... 51,1 %, но не изменило структуры древесины и мало повлияло на размеры трахеид.

Калийные удобрения, особенно в дозе 200 кг/га д. в., отрицательно действовали на макроструктуру древесины. В годичном слое снизилось число рядов трахеид, в большей степени поздних, что привело к уменьшению ШГС на 18,5 % и процента поздней древесины на 9,8, увеличению числа слоев в 1 см в 1,3 раза. Длина ранних и поздних трахеид снизилась на 8,4 ... 8,9 %, но толщина их стенок возросла на 9,5 ... 15,4 %, радиальный диаметр поздних трахеид на 13,2...14,6 %. Размеры трахеид постепенно увеличивались в течение 5 лет (максимальный диаметр – на второй, длина – на третий год действия удобрений).

В сосняке долгомошном удобрения в меньшей степени повлияли на строение древесины сосны, чем в других изучавшихся типах леса. Мало изменились количество, соотношения ранних и поздних трахеид в годичном слое, их диаметры и длина, но во всех вариантах опыта, кроме N200, увеличилась толщина стенок трахеид на 3,5 ... 17,0 %. Азотные удобрения и (NPK)150 вызвали некоторые изменения в количестве и соотношении рядов ранних и поздних трахеид в годичном слое в сторону увеличения первых, что привело к повышению радиального прироста на 18,8 % (N150), 24,5% (N200) и уменьшению доли поздней древесины на 10,3 % (N200), 17,4 % ((NPK)150). В опытах с N200 и (NPK)150 наблюдалось удлинение ранних трахеид на 3,3 ... 4,8 %.

Таким образом, опыты показали, что минеральные удобрения влияют на анатомическое строение древесины в зависимости от их вида, дозы и типа леса. С их помощью можно выращивать древесину определенного строения, с заданными свойствами и качествами. Для выращивания древесины сосны с оптимальной макро- и микроструктурой в сосняке брусничном целесообразно вносить азотные и полные удобрения в дозах 150, 200 кг/га д. в., в сосняке лишайниковом – азотные в дозе 200 кг/га д. в. В сосняке долгомошном без проведения лесомелиорации применение удобрений неэффективно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Битвинкас Т.Т.* Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеороиздат, 1974. – 172 с.
2. *Вихров В.Е.* Исследования строения и технических свойств древесины в связи с типами леса // Вопросы лесоведения и лесоводства. – М.: Лесн. пром-сть, 1954. – С. 317–334.
3. *Вомперский С. Э.* Биологические основы эффективности лесосоушения. М.: Наука, 1968. – 312 с.
4. *Вярбила В.В., Шлейнис Р.И.* Влияние удобрения сосновых насаждений на качество древесины // Лесн. хоз-во. – 1981. – № 12. – С. 8–11.
5. *Гелес И.С., Шубин В.И., Коржицкая З.А.* Влияние удобрений на рост и некоторые свойства древесины сосны // Лесоведение. – 1987. – № 4. – С. 72–77.
6. *Звирбуль А.П., Некрасова Г.Н., Полубояринов О.И.* Влияние удобрения сосновых насаждений карбамидом на качество древесины // Лесн. журн. – 1976. – № 6. – С. 18–22. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Лобжанидзе Э.Д.* и др. Влияние различных техногенных выбросов на динамику годичного прироста и строение древесины в условиях Грузии / Э.Д. Лобжанидзе, Л.О. Джибладзе, В.Э. Лобжанидзе, Т.Т. Магалашвили // Строение, свойства и качество древесины: Симпоз. Координац. совета по современным проблемам древоисноведения, 13 – 17 ноября 1990. – М.: МЛТИ, 1990. – С. 45–48.
8. *Ломов В.Д.* Влияние рубок ухода на анатомическое строение годичных слоев сосны // Там же. – С. 134–137.
9. *Мальцуков В.И.* Лесоводственные основы повышения продуктивности сосновых лесов Унженской низменности: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1988. – 20 с.
10. *Мелехов И.С.* О качестве северной сосны. – Архангельск: Сев. кн. изд-во, 1932. – 24 с.
11. *Мелехов И.С.* Древесина северной ели. – Л.: Гослестехиздат, 1934. – 38 с.
12. *Мелехов И.С.* Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств // Тр. / Ин-т леса. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – Т. 4, № 6. – С. 11–20.
13. *Мелехов И.С.* Влияние пожаров на лес. – М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. – 127 с.
14. *Мелехов И.С.* Рубки главного пользования. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 374 с.
15. *Мелехова Т.А.* О формировании древесины сосны и некоторых других древесных пород Севера в связи с лесорастительными условиями: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Архангельск, 1952. – 17 с.
16. *Паавилайнен Э.* Применение минеральных удобрений в лесу / Пер. с финск. Л.В. Блюдника. Под ред. В.С. Победова. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 96 с.
17. *Паршевников А.Л., Серый В.С., Хабарова Н.Т.* Влияние минеральных удобрений на анатомическое строение древесины сосны // Современные исследования продуктивности и рубок леса. – Каунас: Гослесхоз СССР, ЛитНИИЛХ, 1976. – С. 217–221.
18. *Полубояринов О.И.* Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины: Учеб. пособие. – Л.: РИО ЛТА, 1974. – 96 с.
19. *Прозина М.Н.* Ботаническая микротехника. – М.: Высш. шк., 1960. – 206 с.

20. *Рысин Л.П.* Лесная типология в СССР. – М.: Наука, 1982. – 216 с.
21. *Савченко А.Г.* Изучение огнестойкости сосны крымской с целью создания и формирования пожароустойчивых насаждений в Крыму: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1982. – 18 с.
22. *Серый В.С.* Влияние минеральных удобрений на продуктивность сосняков черничных и брусничных в северной подзоне тайги: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1980. – 21 с.
23. *Сляднев А.П.* Комплексный способ выращивания сосновых насаждений. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 103 с.
24. *Сляднев А.П.* Влияние биоэкологических особенностей сосновых насаждений и азотного удобрения на формирование годичных колец // Лесн. журн. – 1972. – № 6. – С. 69–74. – (Изв. высш. учеб. заведений).
25. *Степаненко И.И.* Влияние минеральных удобрений на строение и формирование древесины сосны в связи с типами леса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1993. – 24 с.
26. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. – 2-е изд. – М.: АН СССР, 1961. – 144 с.
27. *Ярунов А.С.* Лесоводственно-экологические и технологические основы подсочки сосны обыкновенной с применением кормовых дрожжей как стимулятора выхода живицы на Европейском Севере: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1988. – 18 с.

Московский государственный университет леса

Поступила 23.03.2000 г.

I.I. Stepanenko

Influence of Fertilizers on the Anatomic Structure of the Pine Wood in the Different Forest Types

The research results are presented for the influence of the single fertilizer application on the wood macro- and microstructure of *Pinus Sylvestris*. The dependence between the wood anatomic structure and the forest type, fertilizer types and rate is revealed.

УДК 630*2.001

В.И. Обьденников, Н.И. Кожухов

Обьденников Виктор Иванович родился в 1939 г., окончил в 1964 г. Приморский сельскохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и подсочки леса Московского государственного университета леса. Имеет более 120 печатных работ в области лесоведения и лесоводства.



Кожухов Николай Иванович родился в 1938 г., окончил в 1961 г. Куйбышевский сельскохозяйственный институт, профессор, доктор экономических наук, заведующий кафедрой экономики и организации ВЭС Московского государственного университета леса, заслуженный экономист РФ, член-корреспондент РАСХН, академик РАЕН. Имеет более 200 научных работ в области экономики и управления отраслями лесного комплекса.

**ЛЕСОВОДСТВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ТИПОЛОГИИ ВЫРУБОК**

Приведен географический ареал наиболее распространенных типов вырубок. Рассмотрены особенности формирования типов вырубок и возобновления леса в разных географических условиях. Показано влияние агрегатной лесозаготовительной техники на характер формирования типов вырубок в отдельных регионах России.

Учение о типах вырубок, разработанное акад. И.С. Мелеховым, имеет уже полувековую историю. Развертывание в широких масштабах промышленных лесозаготовок, накопление больших площадей вырубок и необходимость их своевременного облесения вызвали потребность в глубоком познании природы вырубок и разработке современных научных основ лесовосстановления. «В связи с этим, – писал акад. В.Н. Сукачев, – имеет большое значение развиваемое И.С. Мелеховым учение о типах вырубок, которое исходит из правильного положения, что вырубки, представляя особые биогеоценозы, подчинены в своем развитии и превращении в лесные биогеоценозы определенным закономерностям, которые могут быть выяснены и которыми возможно управлять только при комплексном изучении всех компонентов биогеоценозов вырубки» [24, с. 322].

Всестороннее изучение природы вырубок (и возобновления леса) на типологической основе, начатое под руководством акад. И.С. Мелехова [10–12 и др.] на севере европейской части России, способствовало расширению таких исследований почти во всех лесных регионах нашей страны и стран СНГ, входивших ранее в СССР. Наибольшее внимание изучению ти-

пов вырубок и лесовозобновлению на них было уделено в европейской части страны: в Карелии [1], Архангельской, Вологодской, Ленинградской, Псковской, Новгородской, Тверской и других областях [1, 15, 19, 28]. На Урале первые исследования типов вырубок были начаты Р.С. Зубаревой [2]. Значительные исследования в этом регионе проведены Л.И. Корконосовой и Н.И. Кожуховым [5]. Изучению природы вырубок на типологической основе в сосновых и кедровых лесах Западной Сибири посвящены работы Ю.П. Хлонова [27], Н.К. Таланцева [25], Г.В. Крылова, В.Н. Демиденко [6] и др. Вопросов типологии вырубок применительно к сосновым лесам Восточной Сибири впервые коснулся Н.И. Михеев [15]. Одними из первых описали типы вырубок в отдельных районах Дальнего Востока Е.Д. Солодухин [23] и А.П. Клинецов [3]. Наиболее полный список литературы по вопросам типологии вырубок приведен в четвертом выпуске библиографического указателя [26]. С момента его выпуска ряды исследователей, изучавших типы вырубок в разных регионах страны, значительно пополнились, поэтому возникла необходимость в следующем издании.

Тип вырубки в естественноисторическом смысле – явление географическое, обусловленное почвой и климатом, с исходным типом леса [10]. Для каждого региона России оказался характерным строго определенный набор типов вырубок. Многими исследователями для различных регионов страны разработаны региональные схемы типов вырубок в связи с типами леса, а для ряда районов – и в связи с характером воздействия лесозаготовительной техники при сплошных рубках на почву, подрост и другие компоненты леса. Географические аспекты типологии вырубок нашли отражение в литературе прежде всего для условий европейской части страны. Географический ареал одних типов вырубок (вересковый) ограничен европейской частью России, других (вейниковый, луговиковый, кипрейный) выходит за ее пределы [12]. И.С. Мелехов отмечал, что в редкостойной европейской тайге преобладают лишайниковые вырубки, в северной подзоне – луговиковые, южной – вейниковые [12].

Несмотря на обширные литературные сведения о типах вырубок в разных регионах, в литературе до сих пор недостаточно отражены географические особенности типов вырубок и ареал их в целом по России.

На основании материалов собственных исследований и обобщенных литературных сведений авторами рассмотрены важнейшие лесоводственно-географические аспекты типологии вырубок в нашей стране. Типы вырубок и возобновление леса на них изучали в ельниках зоны смешанных лесов и подзоны южной тайги Русской равнины [19], ельниках среднетаежной подзоны Урала [4], сосняках средне- и южнотаежной подзон Сибири и Дальнего Востока [18, 21], лиственничниках южнотаежной подзоны Дальнего Востока [17, 20]. В отдельных регионах (зона смешанных лесов Русской равнины, среднетаежная подзона Западной Сибири и Забайкалья) исследовали также особенности формирования типов вырубок в связи с применением агрегатной техники на сплошных рубках.

Наиболее представлена группа вейниковых вырубок. Экологический диапазон в этой группе типов довольно широк. Разные виды вейника, произрастающие в лесной зоне, занимают определенную экологическую нишу и в одних и тех же почвенно-климатических условиях развиваются по-разному. Поэтому требовалось выделить тип вырубки по видовому признаку. Особенно широко представлена группа вейниковых вырубок в таежной зоне и зоне смешанных (хвойно-широколиственных) лесов страны. В эту группу входят в основном лесноевейниковый (тростниковидноевейниковый), наземноевейниковый, тупоколосковоевейниковый и пурпурноевейниковый (лангсдорфноевейниковый) типы вырубок. Лесноевейниковые (тростниковидноевейниковые) вырубки распространены в европейской части России, на Урале и в Сибири, наземноевейниковые – в европейской части страны и на Урале, тупоколосковоевейниковые – на Урале и пурпурноевейниковые (лангсдорфноевейниковые) – на Дальнем Востоке. В европейской части (в южнотаежной подзоне и зоне смешанных лесов Русской равнины) страны отмечены также ланцетноевейниково-сфагновые вырубки.

Природа вырубок лесноевейникового типа наиболее изучена в европейской части России. Важнейшим индикатором и эдикатором данного типа является вейник тростниковидный (лесной). В этих почвенно-климатических условиях он является плотнoderнистым злаком, заселяющим вырубки за счет семян и задерняющим почву в результате кушения. Наиболее распространены вырубки означенного типа в южнотаежной подзоне европейской части страны. Здесь они образуются на месте сосняков и ельников брусничных, кисличных и черничных свежих. Этот тип вырубки приурочен к повышенным местам со средне- и сильноподзолистыми почвами (легкого механического состава) или с маломощным подзолом. Он формируется на 5–7-й год после рубки, образуя плотную дернину на 25 % площади вырубков (проективное покрытие вейника в пределах 80 %) [15]. В возобновлении на вырубках преобладают лиственные породы (береза, осина).

В ельниках зоны смешанных лесов Русской равнины лесноевейниковый тип может осуществляться через смену ситникового покрова на вейниковый. Нашими исследованиями установлено, что в условиях ельника черничного свежего и кисличного (Новгородская и Тверская области) на поврежденной поверхности почвы (агрегатными машинами ЛП-19, ТБ-1, ЛП-18А, ЛТ-17 и др.) в первые 3–4 года после рубки формируется покров из ситника развесистого, который затем сменяется покровом, представленным вейником тростниковидным [19]. Интенсивность смены покрова определяется плотностью верхней части почвы на вырубках. С ее увеличением, связанным с работой лесозаготовительной техники, процесс смены ситника на вейник замедляется. В местах с сильно уплотненной почвой ($1,3 \text{ г/см}^3$ и более в верхнем слое) ситник надолго удерживает свои позиции (15 ... 20 лет и более). В таких условиях конкурентов для него не находится. В целом в этой зоне применение агрегатной техники (особенно ВМ-4А, ЛП-17, ЛП-49) при

сплошных рубках приводит к ухудшению экологической обстановки и затруднению возобновления хвойных пород.

В сосняках таежной зоны Западной Сибири лесовейниковые вырубki чаще всего образуются на месте лишайниково-брусничного, брусничного и бруснично-багульникового типов. На вырубках этого типа возобновление сосны протекает преимущественно без смены пород, длится 4 ... 6 лет и только иногда, в засушливые годы и при слабом урожае семян, растягивается на 10 лет и более [7]. Нашими исследованиями установлено, что применение агрегатной лесозаготовительной техники в сосняках средней тайги Западной Сибири (Тюменская область) способствует расширению площадей вырубok лесовейникового (тростниковидновейникового) типа [18]. Такое явление наблюдается прежде всего после рубки древостоя в сосняках брусничном и бруснично-багульниковом (со свежими супесчаными и суглинистыми оподзоленными и подзолистыми почвами). В связи с неблагоприятными климатическими условиями региона для вейника тростниковидного на вырубках этого типа создается слабое задернение почвы. Экологические условия для сосны здесь сравнительно благоприятные, однако кедр сибирский возобновляется неудовлетворительно [25].

На лесовейниковых вырубках в сосняках таежной зоны Восточной Сибири возобновление главной породы проходит, как правило, удовлетворительно, особенно успешно в сосняках Приангарья [15]. В Забайкалье (Бурятия) лесовейниковый тип вырубki образуется на месте сосняков злаково-разнотравного, бруснично-разнотравного и рододендронового с почвами горно-лесными слабодерновыми слабоподзолистыми и оподзоленными супесчаными. На вырубках лесовейникового типа, образованных после работы агрегатных лесозаготовительных машин (ВТМ-4, ВМ-4, ЛП-18А и др.), сосна возобновляется хорошо [21]. Вейник тростниковидный не создает значительного задернения почвы. Хорошее возобновление сосны отмечено на вырубках аналогичного типа после сплошных рубок агрегатной техникой в сосняках Приангарья [22].

Наземновейниковые вырубki встречаются в средней и южной подзонах тайги европейской части России и на Урале, где получили широкое распространение [5]. Отмечены они также и на Алтае [9]. В среднетаежной подзоне Урала наземновейниковый тип вырубki образуется на месте сухих боров брусничных и сосняков бруснично-лишайниковых на мощных песчаных подзолах [15]. Вейник наземный сплошного задернения не создает. Возобновляется он преимущественно вегетативным путем. Возобновление наземновейниковых вырубok хвойными породами затруднено.

Ланцетновейниково-сфагновый тип вырубki отмечен в южнотаежной подзоне и зоне смешанных (хвойно-широколиственных) лесов Русской равнины [19]. Он образуется чаще всего на месте ельника черничного влажного с торфянисто-перегнойно-подзолистыми оглеенными почвами. Формирование этого типа происходит через промежуточный сфагновый тип. Последующее возобновление ели затруднено.

Вырубки тупоколосковойвейникового типа распространены преимущественно в южной и средней тайге Урала [5], местами в темной тайге Западной Сибири. Они формируются, как правило, после рубки древостоев ельников кислично-разнотравных и реже ельников кисличных со средне- и сильноподзолистыми, среднесуглинистыми на тяжелых суглинках почвами. Важнейшим индикатором и эдикатором вырубок является вейник тупоколосковый, отличающийся от тростниковидного и наземного более интенсивным развитием наземной массы и большим задержанием поверхности почвы. В целом на вырубках данного типа по сравнению с вырубками остальных типов вейниковой группы условия для возобновления хвойных пород менее благоприятны. Естественное возобновление здесь протекает со сменой пород.

Вырубки пурпуровойвейникового (лангсдорфовойвейникового) типа доминируют на Дальнем Востоке, чаще всего в южнотаежной подзоне. Заметный отпечаток на формирование типа вырубки и возобновление накладывает географическая среда. К западу от Буреинского хребта влияние Тихого океана на растительный покров вырубок сказывается в меньшей мере, чем на территории, расположенной к востоку от него. Пурпуровойвейниковые вырубки западной части южной тайги образуются чаще всего на месте лиственничников зеленомошно-брусничного, с елью – зеленомошного и разнотравно-вейникового. Они обычно занимают дренированные почвы (горнотаежные бурые, буроподзолистые и бурые оподзоленные) средних и верхних частей склонов различной крутизны и экспозиции, местами нижние части крутых склонов [17]. В западной части южной тайги на вырубках этого типа, образованного после рубки древостоев лиственничника, естественное возобновление главной породы протекает чаще всего успешно. Оно зависит от длительности срока между рубкой и очередным годом семеношения главной породы, состояния возобновления под пологом леса, сохранности подроста и степени минерализации почвы при лесозаготовках. В пурпуровойвейниковом типе вырубки при отсутствии подроста под пологом леса или уничтожении его в процессе рубки возобновление протекает следующим образом. Оно успешно, если рубки проводились за год-два до семеношения или в урожайный для лиственницы год. Если период между заготовкой леса и годом семеношения лиственницы растягивается, минерализованная поверхность почвы задерневает, а вся площадь вырубки покрывается плотным слоем вейникового опада. В результате возобновление лиственницы Гмелина оказывается затрудненным. Под пологом лиственничника зеленомошно-брусничного и зеленомошного с елью возобновление ели обычно удовлетворительное. Формирующиеся на месте таких типов леса пурпуровойвейниковые вырубки могут успешно возобновляться благодаря еловому подросту, сохраненному в процессе рубки. При совпадении сроков заготовки леса с урожайным годом лиственницы на таких вырубках образуется ево-лиственничный молодняк. В сосновых лесах этой части южной тайги на вырубках пурпуровойвейникового типа, как правило, успешно возобновляется главная порода.

В восточной южнотаежной части Дальнего Востока на вырубках пурпурновейникового типа почва задерняется сильнее, чем в западной ее части. Возобновление хвойных пород на вырубках в лиственничных, еловых и кедрово-широколиственных лесах протекает неудовлетворительно [8, 16, 23].

Багульниковый тип вырубки наиболее представлен в Сибири, на Дальнем Востоке и реже в европейской части страны. В целом возобновление хвойных пород здесь протекает неудовлетворительно. Этот тип вырубки обстоятельно изучен в лиственничных лесах Буреинского хребта [17], где он приурочен преимущественно к покатым, нижним и средним частям крутых склонов и реже к шлейфам «сопок». Данный тип вырубки образуется на месте лиственничников багульниково-зеленомошных и багульниково-брусничных. Индикаторами являются багульник болотный, широколистный и подбел. Багульник широколистный и подбел формируют напочвенный покров вырубок в средне- и южнотаежных подзонах, а также в горных районах Дальнего Востока. Багульник болотный преобладает в северной подзоне тайги и пониженных местоположениях европейской части страны, Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Кипрейные вырубки занимают довольно значительные площади в европейской части России, на Урале и Дальнем Востоке. В Сибири они отмечены прежде всего в кедровых лесах [25]. В целом условия для возобновления хвойных пород на этих вырубках складываются благоприятные. Хорошо изучен тип вырубки на Урале [4], где он формируется преимущественно на месте ельников кисличных и реже черничных. Возобновление хвойных пород на кипрейных вырубках при наличии обсеменителей в сосновых, лиственничных и еловых лесах протекает успешно [4, 13, 14]. В кедровых лесах Сибири и Дальнего Востока восстановление материнской породы происходит через смену пород и может длиться 80 лет и более [7, 25].

Таким образом, географический ареал наиболее распространенных типов вырубок неодинаков. Лесновейниковые (тростниковидновейниковые) вырубки встречаются в основном в европейской части России, на Урале, в Западной и Восточной части Сибири, тупоколоскововейниковые на Урале, наземновейниковые в европейской части страны и на Урале, пурпурновейниковые (лангсдорфновейниковые) на Дальнем Востоке, багульниковые в Сибири, Дальнем Востоке и на севере европейской части страны, кипрейные практически во всей лесной зоне России. По экологическим условиям одни одноименные типы вырубок (кипрейные, тупоколоскововейниковые, наземновейниковые, багульниковые) в пределах географического ареала более или менее однородны, другие (лесновейниковые, пурпурновейниковые) в зависимости от географического положения значительно различаются. Багульниковые, наземновейниковые и тупоколоскововейниковые вырубки в целом неблагоприятны по экологическим условиям для возобновления хвойных пород. На тростниковидновейниковых вырубках в европейской части России и на Урале главные породы возобновляются неудовлетвори-

тельно, сосна же в одноименном типе таежной зоны Сибири – вполне успешно. Экологические условия на вырубках пурпурновейникового типа в западной части южной тайги Дальнего Востока благоприятнее для возобновления хвойных пород, чем в восточной.

Применение агрегатной лесозаготовительной техники при сплошных рубках в различных эколого-географических условиях приводит к разным последствиям. В ельниках южной тайги и зоны смешанных лесов Русской равнины расширяются площади вырубок ситникового и тростниковидновейникового типов, что крайне неблагоприятно для возобновления хвойных пород, а в сосняках средней и южной тайги Сибири – к увеличению доли тростниковидновейникового типа вырубки со сравнительно благоприятными экологическими условиями для возобновления главной породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронова В.С.* Влияние смен растительного покрова на естественное возобновление вырубок // Тр. КарФ АН СССР. – Петрозаводск, 1957. – Вып. 7. – С. 110–126.
2. *Зубарева Р.С.* Типологическая классификация вырубок темнохвойной тайги Среднего Урала // Лесн. журн. – 1961. – № 6. – С. 42–46. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Клинцов А.П.* Экологические условия некоторых типов вырубок Сахалина // Лесн. журн. – 1961. – № 5. – С. 32–35. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Кожухов Н.И.* Формирование кипрейных вырубок в ельниках Среднего Урала // Повышение продуктивности лесов. – М.: МЛТИ, 1968. – Вып. 23. – С. 156–160.
5. *Корконосова Л.И., Кожухов Н.И.* Вейниковые вырубки севера Пермской области // Некоторые вопросы типологии леса и вырубок. – Сев.-зап. кн. изд-во, 1972. – С. 104–117.
6. *Крылов Г.В., Демиденко В.П.* Лесовосстановительные процессы в таежной зоне Западной Сибири // Проблемы лесовосстановления: Тез. докл. пленарного заседания и секции естественного возобновления Всесоюз. конф. – М.: МЛТИ, 1974. – С. 37–39.
7. *Крылов Г.В., Таланцев Н.К.* Зонально-типологические основы систем рубок в лесах Западной Сибири // Вопросы совершенствования организации лесного хозяйства Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1966. – С. 76–83.
8. *Манько Ю.И.* Типы вырубок в пихтово-еловых лесах Сихоте-Алиня // Лесн. журн. – 1968. – № 2. – С. 168–169. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Марадудин И.И.* Пихтовые леса Салаира и их возобновление: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Свердловск, 1968. – 28 с.
10. *Мелехов И.С.* О теоретических основах типологии вырубок // Лесн. журн. – 1958 – № 1. – С. 27–38. – (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Мелехов И.С.* Динамическая типология леса // Лесн. хоз-во. – 1968. – № 3. – С. 15–21.
12. *Мелехов И.С.* Лесоводство. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
13. *Мелехов И.С., Корелина А.А.* О кипрейных рубках и мероприятиях по возобновлению леса применительно к ним // Концентрированные рубки в лесах Севера. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 149–158.

14. Мелехов И.С., Корконосова Л.И., Чертовской В.Г. Руководство по изучению концентрированных вырубок. – М.: Наука, 1965. – 180 с.

15. Михеев Н.И. Типы сосновых вырубок Западного Приангарья // Лесн. хоз-во. – 1965. – № 9. – С. 21–24.

16. Обыденников В.И. Естественное возобновление в лиственничниках Амгунь-Горинского междуречья // Итоги изучения лесов Дальнего Востока: Реф. докл. – Владивосток, 1967. – С. 19–23.

17. Обыденников В.И. Типы вырубок в лесах западных склонов Буреинского хребта // Лесн. хоз-во. – 1970. – № 8. – С. 18–21.

18. Обыденников В.И. Типы вырубок и возобновление в северотаежных сосняках Западной Сибири // Повышение продуктивности лесов и улучшение ведения лесного хозяйства: Науч. тр. МЛТИ. – М.: МЛТИ, 1981. – Вып. 120. – С. 22–27.

19. Обыденников В.И. Географические особенности последствий сплошных рубок с использованием агрегатной техники // Лесн. хоз-во. – 1996. – № 5. – С. 20–22.

20. Обыденников В.И., Кожухов Н.И. Типы вырубок и возобновление леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 176 с.

21. Обыденников В.И., Рожин Л.Н. Последствия использования агрегатной лесозаготовительной техники в сосняках Забайкалья // Лесн. журн. – 1995. – № 2–3. – С. 7–11. – (Изв. высш. учеб. заведений).

22. Первозникова В.Д. Естественное возобновление на вырубках после применения агрегатной техники в Среднем Приангарье // Лесн. хоз-во. – 1993. – № 3. – С. 22–24.

23. Солодухин Е.Д. К типологии дальневосточных вырубок // Лесн. журн. – 1961. – № 4. – С. 22–23. – (Изв. высш. учеб. заведений).

24. Сукачев В.Н. Избранные труды. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Т. 1. – Л.: Наука, 1972. – 418 с.

25. Таланцев Н.К. Влияние климатических факторов на динамику возобновления кедра // Продуктивность и восстановительная динамика лесов Западной Сибири: Тр. по лесн. хоз-ву Западной Сибири. – Новосибирск, 1971. – Вып. 9. – С. 186–194.

26. Типология вырубок. Библиографический указатель / Сост. Н. И. Кожухов, Н. М. Набатов, В. И. Обыденников, В. Г. Чертовской. – М.: МЛТИ, 1974. – 52 с.

27. Хлонов Ю.П. Возобновление сосны под пологом леса и на вырубках в таежной и лесостепной зонах // Естественное возобновление хвойных в Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. – Вып. 7. – С. 55–75.

28. Чертовской В.Г. Об облесении долгомошных вырубок // Тр. Ин-та леса АН СССР. – М., 1959. – Т. 49. – С. 121–123.

Московский государственный университет леса

Поступила 03.04.2000 г.

V.I. Obydennikov, N.I. Kozhukhov

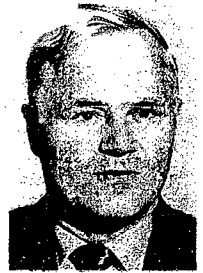
Silvicultural-and-geographical Aspects of Deforestation Typology

The geographical range of the most common types of felled areas is given. The peculiarities of the formation of felling area types and forest regeneration in different geographical conditions are analyzed. The influence of harvesting machines on the formation character of the felling area types in some regions of Russia is shown.

УДК 630*221.0

А.С. Тихонов

Тихонов Анатолий Семенович родился в 1934 г., окончил в 1959 г. Всесоюзный заочный лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и защиты леса Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 100 научных трудов по проблемам рубок леса и лесовозобновления.



УТОЧНЯЮЩИЕ ПРИЗНАКИ НЕКОТОРЫХ РУБОК ЛЕСА

Уточнены отличительные признаки сплошных узколесосечных и концентрированных рубок; промышленно-выборочных; рубок реформирования и обновления, которые отнесены к комплексным.

В учебном процессе для лучшего восприятия студентами классификации рубок приходится дополнять некоторые определения отличительными признаками, основываясь в первую очередь на исторической преемственности.

Еще в 1938 г. С.В. Алексеев и А.А. Молчанов установили критерий отличия условно-сплошных рубок от подневольных-выборочных по интенсивности (40 %) [1]. Остатки древостоя после более интенсивной рубки распадаются, и ранее покрытая лесом площадь переходит в вырубку с единичными деревьями (хозяйственная редина), т. е. в не покрытые лесом земли, как и после других видов сплошных рубок. Максимальная интенсивность условно-сплошной рубки – 90 % [12]. «Остатки древостоя как фактор лесовозобновления» [17, с. 465] соответствуют по размеру объему стволов обсеменителей при сплошных рубках.

Такое же ограничение (10 %) принято для подневольных-выборочной рубки, которая за этим пределом переходит в выборочную приисковую рубку [9]. Все они, как ухудшающие генофонд древесных пород, уходят в историю. Но студенты должны их знать, чтобы искажения других видов рубки можно было назвать соответствующим термином.

ГОСТ 18486–87 и ОСТ 56–108–98 ограничили узколесосечные рубки максимальной шириной 100 м. А минимальная ширина, исходя из исторической рубки Корнаковского [5], должна быть 25 м. При меньшей ширине рубка относится к полосно-постепенной, как, например, полосно-каймовая рубка Шрогля с шириной полосы 5 ... 17 м [16].

«Отличительная особенность концентрированных сплошных рубок ... состоит в том, что проведение их вызывает более сильное изменение лесорастительной среды», – писал М.Е. Ткаченко [17, с. 450]. А. А. Молчанов [7] установил, что смыв почвы в холмистых условиях возрастает при увеличении ширины лесосек с 50 до 400 м в 4–5 раз, годовой коэффициент поверхностного стока повышается в 2 раза при величине вырубок 500 × 500 м

(25 га), а коэффициент весеннего стока резко возрастает при уменьшении лесистости за пределы 40 % [6].

Поэтому сплошные рубки можно относить к концентрированным, если в малом водосборе на 1000 га вырубки и молодняки I класса возраста, слабо влияющие на сток, занимают более 600 га. При размере квартала 2 × 2 км (400 га) и действующих сроках примыкания лесосек 2 ... 8 лет (примем в среднем 5 лет) такая ситуация складывается при сплошных рубках лесосеками шириной 300 м. А.В. Побединский [12] относит к концентрированным рубкам лесосеки шириной более 200 м. Степень концентрации лесосек, как видим, возникает при сроке примыкания до 5 лет. Поэтому полное определение концентрированной рубки могло быть как сплошная рубка, проводимая лесосеками шире 200 м или площадью более 25 га, при сроке примыкания менее 5 лет. Такие рубки предусмотрены «Правилами» [13], и их надо называть собственным именем.

Теперь широколесосечным способом назовем сплошную полосную рубку лесосеками меньше 25 га, шириной 100 ... 200 м с непосредственным примыканием через 5 и более лет в один заруб.

Лесосека с такими параметрами иной конфигурации, копирующей границу однородного по почвенно-грунтовым условиям участка, будет отнесена к сплошным участковым рубкам. «Участковые рубки, – по определению В.П. Разумова, – это рубки участками, которые могут соответствовать таксационным выделам в целом, составлять часть их или представлять объединение соседних, сходных в том или ином отношении выделов» [14, с. 51].

Нельзя согласиться с введением в ОСТ 56-108-98 котловинной рубки, которая не отличается от последних приемов группово-постепенной, при которой «окна» могут расширяться за пределы 0,03 га. Поэтому такое примечание к этому виду следует убрать, а минимальное число приемов изменить с 2 на 3. Характерным является групповой характер рубки и продолжительность цикла – от одного до двух классов возраста.

По мнению И.С. Мелехова, «группово-выборочная рубка осуществляется в течение 40–50 лет и более» [5, с. 165]. Но чем она должна отличаться от добровольно-выборочной? В п. 2.4 «Правил» указано, что «при этом осуществляется преимущественно групповое изъятие перестойных и спелых деревьев», а при добровольно-выборочных рубках – «более или менее равномерно по площади» [13, с. 5]. По Г.Ф. Морозову, все выборочные рубки «имеют группово-выборочный характер» [8, с. 518], присущий групповому смещению поколений в разновозрастном древостое. И.С. Мелехов [5] в главе «Выборочные рубки» обсуждает подневольно-, добровольно- и промышленно-выборочные, а группово-выборочные не упоминает, что и надо принять в учебном процессе.

Определение добровольно-выборочной рубки в ОСТ отражает ее сущность, как «рубка, при которой вырубает, в первую очередь, фаутные, перестойные, спелые с замедленным ростом деревья для своевременного использования древесины и сохранения защитных свойств леса ...» [10, с.

37]. В эксплуатационных лесах должна применяться не добровольно-выборочная, а промышленно-выборочная рубка, которую можно характеризовать как предельно (в отношении устойчивости насаждения) интенсивную рубку в разновозрастных древостоях предварительно отклейменных спелых, перестойных деревьев и отобранных по условиям безопасности, обеспечивающую естественное возобновление главной породы, в присущих ей условиях произрастания. Безопасные дровяные стволы могут быть оставлены на перегнивание.

В категорию рубок ухода входят осветление, прочистка, прореживание, проходная и ландшафтная (пейзажная) рубка. Их объединяет один характерный признак – они ведутся в древостоях, не достигших возраста рубки, и не включают задачу лесовозобновления.

Между рубками ухода и главными рубками в схеме классификации [16] находится категория комплексных рубок, предложенная И.С. Мелеховым [4], вошедшая в ГОСТ и неверно названная в ОСТ рубкой главного пользования [15]. Их отличие заключается в решении одновременно двух задач: и главных рубок, и рубок ухода.

Тезис Г.Ф. Морозова «Рубка и лесовозобновление должны быть синонимами» принят лесными законодательствами страны с 1977 г. Поэтому решение задачи главной рубки проявляется в создании условий для лесовозобновления рубкой как спелых, так и неспелых деревьев. Исходя из этого, к комплексной категории рубок надо отнести рубку обновления, которая согласно ОСТ 56-108-98 рассматривается как «рубка ..., проводимая в приспевающих, спелых и перестойных насаждениях, с целью их обновления путем создания благоприятных условий роста молодых перспективных деревьев, находящихся в насаждении (задача рубок ухода – А. Т.), появляющимся в связи с проведением рубок ... и содействием возобновлению леса» (задача главных рубок – А. Т.).

В этом ОСТ есть определение и рубки переформирования как рубка, «проводимая в ... средневозрастных и старшего возраста насаждениях с целью ... создания благоприятных условий роста деревьев целевых пород, поколений ...» [10, с. 42–43]. Нами, да и другими учеными, этот термин был воспринят критически. Но он стал популярным на практике, и студентам надо объяснять его с указанием отличительных признаков. Слово «поколений» в определении необходимо конкретизировать как подрост, и тогда выражение будет «деревьев и подростов целевых пород». Чтобы различить рубки переформирования и обновления, следует первую ограничить спелыми древостоями, поскольку переформировывать перестойные древостои уже поздно. Наоборот, рано обновлять приспевающие и спелые древостои в особо экологически значимых насаждениях, где запрещены главные рубки. Иначе отдыхающие в рекреационных лесах не увидят великовозрастных величественных сосняков, дубрав. Именно в спелом возрасте древостои, уменьшая транспирацию и плотность крон, позволяют большому количеству осадков пополнять грунтовые воды.

В Лесном кодексе РФ, так же как рубки обновления, стоят отдельно от рубок ухода рубки реконструкции [3, ст. 113, 133]. В ОСТ 56-108-98 дано такое определение: «Рубка реконструкции – рубка в малоценных (а это могут быть и низкополнотные взрослые древостои главных пород – *А.Т.*) ..., обеспечивающая... подготовку условий для проведения мероприятий по созданию лесных культур» [10, с. 48]. Таким образом, искусственное лесовозобновление, исторически присущее реконструктивным рубкам, и является их отличительным признаком. Задача рубок ухода при комплексных рубках реконструкции решается в отборе для оставления перспективных деревьев, групп, куртин или части древесного яруса.

Четвертым видом комплексных рубок являются рубки доразживания, применяемые во всех лесах. Еще Наставлением по рубкам ухода в лесах Дальнего Востока 1982 г. были предусмотрены комплексные рубки в насаждениях, ранее расстроенных условно-сплошными или подневольновыборочными рубками. Цель их – удалить старые деревья, мешающие росту молодых. Одновременно проводят уход за подростом и формируют разновозрастные древостои кедра, ели, пихты. Такой рубкой доразживания является «рубка ухода за семеношением кедра», когда в плодоносящих кедровниках клеймят деревья старые слабоплодоносящие, усыхающие, неразвитые и второстепенных пород [11].

Подобные рубки применяют в осушенных лесах для изъятия старых деревьев, не реагирующих на мелиорацию, фаутных и второстепенных пород, затеняющих подрост. Ведутся опыты по доразживанию второго елового яруса до размеров балансов разреживанием сосняков. В соответствии с определением комплексных рубок по ГОСТ и ОСТ, с их помощью изымается примесь спелой и перестойной древесины в разновозрастных ельниках. Название ее комплексной рубкой доразживания обяжет доводить основную часть древостоя до возраста спелости, а не выбирать все время деревья, достигающие этого возраста.

С введением рубки обновления отпала необходимость в ландшафтных (пейзажных) выборочных рубках в спелых и перестойных рекреационных лесах, поскольку разреживанием таких древостоев не повысить ни эстетическую ценность, ни устойчивость, как этого требует ОСТ. Ландшафтные же сплошные (планировочные) рубки ведутся независимо от возраста, их нельзя относить к промежуточному пользованию. Они, как и санитарные сплошные рубки, согласно Лесному кодексу РФ, должны входить в категорию прочих рубок (дополнительное пользование).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Молчанов А.А. Сплошные рубки на Севере. – Вологда: Севтранслес, 1938. – 133 с.
2. ГОСТ 18486–87. Лесоводство. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.
3. Лесной кодекс Российской Федерации. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. – 65 с.

4. Мелехов И.С. Рубки главного пользования. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 315 с.
5. Мелехов И.С. Лесоводство. – М.: Агропромиздат, 1989. – 302 с.
6. Молчанов А.А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. – М.: АН СССР, 1964. – 255 с.
7. Молчанов А.А. Поверхностный сток на элементарных площадках и малых водосборных бассейнах в европейской части СССР // Тр. / Тбилис. ин-т леса. – Тбилиси, 1974. – Т. 21. – С. 28–29.
8. Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т. 1. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 559 с.
9. Нестеров В.Г. Общее лесоводство. – М.: Гослесбумиздат, 1954. – 655 с.
10. ОСТ 56-108–98. Лесоводство. Термины и определения. – М.: ВНИИЦ-лесресурс, 1999. – 56 с.
11. Парамонов Е.Г. Лесоводственное обоснование дифференцированной системы ведения хозяйства в горных кедровниках Алтая / Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Йошкар-Ола, 1994. – 36 с.
12. Побединский А.В. Рубки и возобновление в таежных лесах СССР. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 199 с.
13. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах европейской части Российской Федерации. – М.: Рослесхоз, 1994. – 32 с.
14. Разумов В.П. Лесоводство. Ч. 2. – Брянск: Приокск. изд-во, Бр. отдел., 1973. – 266 с.
15. Тихонов А.С. Комплексные рубки – промежуточное пользование // Лесн. хоз-во. – 1997. – № 1. – С. 11–14.
16. Тихонов А.С., Зябченко С.С. Теория и практика рубок леса. – Петрозаводск: Карелия, 1990. – 224 с.
17. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. – М., Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 599 с.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Поступила 23.03.2000 г.

A.S. Tikhonov

Qualifying Attributes of Some Wood Cutting

The distinctive features of final stripped-coupe and concentrated felling are specified, as well as selective cutting, cuttings of reformation and rejuvenation referred to complex felling.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Е.Н. Наквасина

НОВОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ*

Юбилейный год проф. Г.И. Редько ознаменовался выходом в свет нового капитального труда по лесным культурам и защитному лесоразведению, подготовленного коллективом авторов трех ведущих вузов страны: Г.И. Редько, М.Д. Мерзленко, Н.А. Бабичем, И.В. Трещевским. Своевременность этого издания неоспорима. Уже более 15 лет библиотеки лесных вузов страны не пополнялись учебниками по лесным культурам. Открываются новые лесохозяйственные факультеты и отделения в других вузах России, для которых обеспечение учебной литературой оказывается одной из наиважнейших проблем.

Учебное пособие «Лесные культуры и защитное лесоразведение», предназначенное для студентов, обучающихся по специальности 26.04.00 «Лесное и лесопарковое хозяйство», подготовлено авторами в соответствии с действующей программой 1995 г. Написано оно с учетом последних достижений лесной науки и лесокультурного производства и коренных изменений в условиях перехода к рыночной экономике, которые заделали и проблемы лесовосстановления, защитного лесоразведения.

По сравнению с другими изданиями подобных учебников здесь значительно расширен исторический подход к лесокультурному делу. Поэтапно рассмотрено становление питомнического, лесосеменного, лесокультурного дела и защитного лесоразведения в стране, показано место лесных культур в современном лесном хозяйстве. Этот раздел, написанный Г.И. Редько, показывает истоки зарождения лесокультурного дела, основан на огромном объеме исторического материала и, несомненно, сыграет свою роль в поддержании у студентов-лесохозяйственников традиций отечественного лесоводства.

Структура пособия соответствует последовательности лесокультурных работ: заготовка и переработка лесосеменного сырья, подготовка семян к посеву, выращивание посадочного материала и создание лесных культур. Градация текста на главы и разделы с четкой тематикой и конкретным изложением материала делает учебник легким для восприятия, обеспечивает хорошее усвоение материала студентами, оставляет простор

* Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабич Н.А., Трещевский И.В. Лесные культуры и защитное лесоразведение: Учеб. пособие. - СПб.: ЛТА, 1999. - 418 с.

для сравнения методов, подходов, выбора лучших вариантов. Ярко выражен в учебнике географический и биогеоценотический подход к созданию лесных культур – дифференцированно по лесорастительным зонам, типам лесорастительных условий, категориям лесокультурного фонда. Особое место заняли вопросы лесовыращивания на концентрированных вырубках, почвах избыточного увлажнения, плантационного выращивание леса и др. Рассматривается создание лесных культур не только основных лесобразующих пород, но и перспективных экзотов, пищевых и технически ценных пород.

Насыщенное справочными материалами, основанное на теории и практике лесокультурного дела рецензируемое учебное пособие будет полезно не только студентам, но и работникам лесного хозяйства на местах.

Однако некоторые главы (разделы) учебника изложены слишком кратко, на уровне основных понятий, и несколько проигрывают в сравнении с другими. К ним можно, по нашему мнению, отнести разделы, касающиеся лесосеменного районирования пород, организации лесосеменных участков. В частности, есть оригинальные материалы СевНИИЛХа по их созданию и формированию, которые нашли бы достойное место в учебном пособии.

Можно упрекнуть авторов за некачественные ксерокопированные рисунки в пособии, скромный дизайн издания. Но все же стоит воздать должное качеству изложенного в нем материала, энергии авторов и финансовой поддержке Вологодского управления лесами (начальник управления Н.Н. Неволин), подаривших нам столь полное и фундаментальное учебное пособие в период, связанный (по тактичному выражению одного из авторов) с «отрицательным влиянием трансформации социально-экономических условий в стране на лесное хозяйство в целом».

Поморский государственный университет

E.N. Nakvasina
New Manual

ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА

Исполняется 70 лет Георгию Ивановичу Редько – профессору, доктору сельскохозяйственных наук, академику РАЕН и Лесоводственной АН Украины, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, лауреату премии и медали им. М.В. Ломоносова за 1994 г., проректору С.-Петербургской лесотехнической академии по научной работе. Эта знаменательная дата на жизненном и творческом пути крупного ученого, деятельность которого связана с лесовосстановлением.

Г.И. Редько родился 25 ноября 1930 г. Окончив в 1949 г. с отличием Велико-Анадольский лесной техникум, а затем и Ленинградскую лесотехническую академию, он работал главным лесничим Тихвинского лесхоза, научным сотрудником Института леса АН УССР и директором Полесской ЛОС. В 1960 г. Георгий Иванович успешно защитил (под руководством П.С. Погребняка) кандидатскую диссертацию, а в 1971 г. – докторскую. С 1971 г. по 1996 г. бессменно руководит кафедрой лесных культур СПбЛТА.

Своим умом, талантом, упорством Г.И. Редько достиг многого в жизни. Он известен в научном мире не только в России, но и за рубежом, является ведущим специалистом в области выращивания быстрорастущих насаждений.

Удивительная трудоспособность и эрудиция способствовали многогранности научных исследований Георгия Ивановича. Им опубликовано свыше 250 работ, в том числе 25 книг. Наиболее значимые из них: «Биология и культура тополей». - Л.: ЛГУ, 1975. - 174 с.; «Полковник корпуса лесничих». - Киев: МЛХ Украины, 1994. - 504 с.; два издания учебника «Лесные культуры» для студентов вузов (соавторы А.Р. Родин и И.В. Трещевский).

Георгий Иванович – вдумчивый и внимательный педагог. Обладая необыкновенными организаторскими способностями, душевной щедростью, он бескорыстно делится знаниями и опытом со студентами и преподавателями не только своего родного вуза, но и других вузов России. Им прочитаны курсы лекций в лесных институтах и университетах Болгарии, Венгрии, Чехословакии, Монголии, Китая.

Под руководством Г.И. Редько подготовлены сотни инженеров лесного хозяйства, защищено около 50 кандидатских диссертаций (в том числе 10 иностранными аспирантами) и 10 докторских.

По его инициативе и при активном участии Г.И. Редько с 1978 г. в стране регулярно стали проводиться творческие научно-методические встречи преподавателей курса «Лесные культуры и защитное лесоразведе-

ние». Эти семинары внесли значительный вклад в совершенствование методологии преподавания курса, оживили и расширили научные исследования в области искусственного лесовосстановления. Он активный участник многих научных конференций и симпозиумов разных уровней.

Георгий Иванович неутомим в своих поисках, легок на подъем, для него не существует расстояний, не страшат многочисленные командировки.

Научно-исследовательскую и педагогическую работу проф. Г.И. Редько успешно сочетает с общественной. Он является членом специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, в течение 10 лет был экспертом ВАК.

45 лет педагогической, научной, производственной и общественной деятельности Г.И. Редько являются ярким примером служения Русскому лесу, Родине и народу, примером добросовестного выполнения долга ученого.

Лесоводы России, многочисленные ученики с большой любовью и глубокой признательностью поздравляют Георгия Ивановича с юбилеем, благодарят за полученные знания и теплоту души, низко кланяются своему учителю, искренне желают крепкого здоровья, долгой жизни и дальнейших творческих успехов.

**Н.А. Бабич, Г.И. Травникова, Н.П. Гаевский, В.В. Беляев,
Е.Н. Наквасина, Р.В. Сунгуров**

Архангельский государственный технический университет
Поморский государственный университет
Северный научно-исследовательский
институт лесного хозяйства

*N.A. Babich, G.I. Travnikova, N.P. Gaevsky, V.V. Belyaev,
E.N. Nakvasina, R.V. Sungurov*
Congratulations with Jubilee

УДК 06.091

МИХАИЛ ЯКОВЛЕВИЧ ЗАРУБИН

10 декабря исполняется 70 лет со дня рождения доктора химических наук, профессора С.-Петербургской лесотехнической академии, действительного члена Международной академии лесных наук, академика РАЕН, Соросовского профессора, заслуженного деятеля науки РФ Михаила Яковлевича Зарубина.

М.Я. Зарубин родился в д. Кулемиха Ветлужского района Горьковской области. После



окончания средней школы поступил на химико-технологический факультет Ленинградской лесотехнической академии, который окончил с отличием в 1954 г. Еще будучи студентом под руководством проф. Д.В. Тищенко принимал активное участие в научно-исследовательской работе кафедры органической химии, с которой связал всю свою последующую научную и педагогическую деятельность.

С 1954 по 1957 г. М.Я. Зарубин – аспирант, с 1957 по 1962 г. – сначала младший, а затем старший научный сотрудник, с февраля 1962 г. – доцент кафедры органической химии. В 1967–1971 гг. М.Я. Зарубин находился на преподавательской работе в Институте нефти и газа в Алжире. В 1972 г. был избран заведующим кафедрой органической химии, которую возглавляет по настоящее время. С 1980 по 1985 г. работал деканом химико-технологического факультета, а с 1985 г. по 1996 г. – проректором по учебной работе ЛТА.

Более 20 лет М.Я. Зарубин – председатель Специализированного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций. Был членом редколлегии журнала «Химия древесины». С 1990 г. М.Я. Зарубин является председателем Совета экспертов по химии растительных ресурсов при ЮНЕСКО. В настоящее время в качестве директора проводит сложную и трудоемкую работу по организации в ЛТА Департамента леса Всемирного технологического университета.

Михаила Яковлевича отличает исключительное трудолюбие, настойчивость, целеустремленность и добросовестность. Доброжелательное отношение к коллегам, личный пример в отношении к работе позволили М.Я. Зарубину создать работоспособный творческий коллектив преподавателей и научных сотрудников.

Научной общественности хорошо известны достижения М.Я. Зарубина в области химии лигнина, которые опубликованы в более чем 250 статьях и тезисах докладов. Обобщенные им в докторской диссертации «Реакции лигнина при сольволизе растворами кислот и оснований» идеи и концепции развиваются его многочисленными учениками. Под его руководством подготовлено 4 доктора и более 20 кандидатов наук.

Созданная Михаилом Яковлевичем научная школа хорошо известна не только в России, но и за рубежом, ее представители успешно работают в США, Канаде, Португалии. Замечательный педагог М.Я. Зарубин неоднократно приглашался для чтения лекций в других странах.

Свое семидесятилетие М.Я. Зарубин встречает в расцвете творческих сил, полный энергии и планов, направленных на совершенствование учебного процесса и подготовку молодых научных кадров по перспективным направлениям химии древесины.

Поздравляем Вас, Михаил Яковлевич, со славным юбилеем и желаем Вам доброго здоровья, оптимизма и дальнейших успехов в работе.

Друзья, коллеги, ученики

С.-Петербургская лесотехническая академия

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

ПРОЖИВАЮЩИХ ЗА РУБЕЖОМ !

**ВЫ МОЖЕТЕ ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ
НА ДАННОЕ ИЗДАНИЕ
ПО КАТАЛОГУ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»**

«RUSSIAN NEWSPAPERS & MAGAZINES-2001»

Тел.: /007 095/ 195 6677, 195 6418

Факс: /007 095/ 195 1431, 785 1470

E-mail: ovs@rosp.ru

Web site at http: // www.rosp.ru

ATTENTION OF FOREIGN SUBSCRIBERS !

**YOU CAN SUBSCRIBE TO THIS EDITION
THROUGH THE «ROSPCHAT» AGENCY CATALOGUE**

«RUSSIAN NEWSPAPERS & MAGAZINES-2001»

Phone: /007 095/ 195 6677, 195 6418

Fax: /007 095/ 195 1431, 785 1470

E-mail: ovs@rosp.ru

Web site at http: // www.rosp.ru

INTAS ДЛЯ НАУКИ

INTAS, Международная Ассоциация для сотрудничества с учеными из новых независимых государств (НИГ), в состав которых входит и Россия, выделила 30 миллионов евро на реализацию своих основных программ.

В Архангельском государственном техническом университете открыто информационное бюро INTAS (www.intas.be). Задача бюро - доводить до сведения северян предложения Ассоциации. Отметим, что создана она в 1993 году. Членами INTAS являются страны Европейского сообщества и еще 20 государств. От финансирования военных исследований, а также любой политической и коммерческой деятельности INTAS воздерживается.

ПРОЕКТЫ!

INTAS объявляет о цикле поддержки исследовательских проектов, выполняемых совместно группами из стран INTAS и НИГ. Проекты должны выполняться, по крайней мере, четырьмя группами. Продолжительность проектов - от 2 до 3 лет. Величина финансовой поддержки - 30 тысяч евро, умноженные на число групп из НИГ (минимум две), но не более 150 тысяч евро, причем странам INTAS выделяется не более 20 процентов от общего бюджета.

Проводятся три конкурса (бюджет - 13 миллионов евро):

- первый открытый конкурс - исследовательские проекты, относящиеся к ядерной физике и физике частиц, теоретической физике, астрономии и астрофизике, оптике, квантовой электронике и т.д.
- второй открытый конкурс - исследовательские проекты, относящиеся к общей биологии, микробиологии и цитологии, психологии, биохимии, биофизике, генетике, медицине и т.д.
- третий открытый конкурс - исследовательские проекты, относящиеся к геологии, геохимии,

геофизике, гидрологии, атмосферной физике, окружающей среде, энергетике.

ЗАЯВЛЕНИЯ ДОЛЖНЫ ПОСТУПИТЬ В INTAS ДО 28 СЕНТЯБРЯ 2001 ГОДА.

СТИПЕНДИИ!

INTAS запустила свою новую программу с бюджетом в 1 миллион евро с целью поддержать молодых ученых СНГ. Любой ученый до 35 лет может теперь подать заявку на стипендию INTAS. **БЛИЖАЙШИЙ СРОК ПОДАЧИ ЗАЯВОК - ДО 30 МАРТА 2001 г.**

Заявки принимаются от четырех категорий молодых ученых: дополнительно к стипендиям в рамках проектов есть еще стипендия для ученых, обучающихся в аспирантуре, стипендия для только что защитившихся ученых со степенью кандидат наук (когда прошло меньше трех лет после защиты) и квалифицированных ученых (когда прошло три и более лет после защиты).

Максимальная продолжительность стипендии и гранта варьируется от 12 месяцев и 3500 евро по стипендиям, связанным с работой в проекте INTAS, до 2 лет и 6000 евро по стипендиям для квалифицированных ученых.

ВНИМАНИЕ!

Все необходимые документы для подачи заявок, а также правила по их заполнению можно получить на официальном сайте INTAS:

<http://www.intas.be>, или в Информационном офисе программ INTAS на Северо-Западе России, который находится по адресу:

163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17, комн.1230.

Тел.(8182)44-93-27, факс(8182)44-11-46

Электр. почта: ed@agtu.ru, pn@agtu.ru

Подписывайтесь

на второе полугодие 2000 г.

на журнал
«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ»

«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ»

Индекс 70368

«Лесной журнал» выходит один раз в два месяца. Стоимость трех номеров 105 руб., доплаты за услуги связи устанавливаются по регионам.

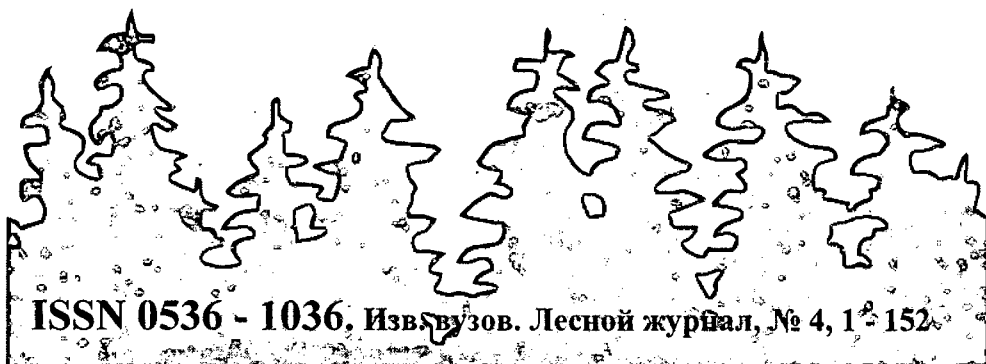
Подписка принимается органами «Роспечати».

Подписка на журнал может быть оформлена через редакцию. (Наш расчетный счет 40503810000002000148 в ГРКЦ г. Архангельска, БИК 041117001, ИНН 2901039102.) Копию платежного поручения или денежный перевод с указанием адреса и фамилии подписчика просим выслать в редакцию.

По заявке, направленной в редакцию, отдельные номера журнала высылаются наложенным платежом.

Адрес редакции:

163002, г. Архангельск,
наб. Северной Двины, 17, АГТУ, «Лесной журнал».



ISSN 0536 - 1036. Издательство. Лесной журнал, № 4, 1 - 152