

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

**МАТЕРИАЛЫ, ПОСВЯЩЕННЫЕ 75-ЛЕТИЮ
АРХАНГЕЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**THE MATERIALS DEDICATED TO THE 75 TH
ANNIVERSARY OF ARKHANGELSK
STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

3

2004

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 3

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

Сдан в набор 12.05.2004. Подписан в печать 02.06.2004.
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 27 37 18,
факс: (818-2) 28 07 14, e-mail: forest@agtu.ru http://lesnoizhurnal.agtu.ru

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



СОДЕРЖАНИЕ

<i>О.М. Соколов, Е.С. Романов.</i> Юбилей АГТУ: 75 лет служения образованию, науке, производству.....	7
ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО	
<i>Г.А. Чибисов, Н.С. Минин.</i> Рост сосняков под влиянием рубок ухода 40-летней давности.....	10
<i>Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков.</i> Природа притундровых лесов европейской части России и основы хозяйства в них	18
<i>О.А. Неволин, С.В. Третьяков, О.О. Еремина.</i> Продуктивность смешанных сосняков Европейского Севера и организация хозяйства в них.....	26
ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ	
<i>О.М. Соколов, А.А. Митрофанов, В.Л. Рымашевский.</i> Проблемы и перспективы транспортного развития лесопромышленного комплекса.....	37
<i>В.Я. Харитонов.</i> Обоснование параметров гидротормоза для остановки плотов.....	43
<i>С.И. Морозов, Д.Н. Шостенко.</i> Определение параметров силовой функции при сжатии и соударении упругопластичных тел	50
<i>В.П. Стуков.</i> Совершенствование конструктивно-технологической системы пролетного строения моста с деревожелезобетонными балками.....	56
<i>В.П. Стуков.</i> Особенности изготовления многослойной мостовой балки из клееной древесины.....	60
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ	
<i>Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин.</i> Основные направления интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании.....	65
<i>И.И. Иванкин.</i> Программа для расчета поставов и выходов пилопродукции....	72
<i>Ю.А. Варфоломеев, Л.С. Суровцева, А.С. Малашкин.</i> Влияние способа поставки древесного сырья на его качество.....	76
<i>Д.В. Иванов.</i> Подготовка сырья к распиловке на современных лесопильных предприятиях.....	81
ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ	
<i>Ю.Г. Хабаров.</i> Методы определения лигнинов.....	86
<i>К.Б. Воронцов, Е.Д. Гельфанд.</i> Обработка сульфитных щелоков известкованием.....	102
<i>Т.Э. Скребец, К.Г. Боголицын, Д.Г. Чухчин, С.А. Вербицкая.</i> Изменение свойств диоксанлигнина после щелочной обработки в присутствии этанола.....	105
ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА	
<i>А.Ю. Харитонов, А.В. Пластинин.</i> Методика построения комплексного показателя стоимости предприятия.....	111

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- А.Т. Гурьев, А.А. Блок.* Основы моделирования работы комплексов лесосечных машин..... 116
- А.Т. Гурьев, С.В. Торхов, Д.В. Трубин.* Вопросы информационного обеспечения процессов лесного сектора..... 125

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- Э.Н. Сабуров, С.Г. Горохов, В.К. Любов.* Аэродинамика циклонного двухкамерного предтопка для сжигания древесных отходов..... 135

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

- Е.В. Новожиллов, Н.И. Богданович.* Международный семинар по биотехнологии в АГТУ..... 144



CONTENTS

<i>O.M. Sokolov, E.S. Romanov.</i> Jubilee of ASTU: 75 Years of Serving Education, Science and Production.....	7
<i>FORESTRY</i>	
<i>G.A. Chibisov, N.S. Minin.</i> Growth of Pineries Influenced by Thinning Realized 40 Years Ago.....	10
<i>B.A. Semenov, V.F. Tsvetkov.</i> Nature of Pre-tundra Forests in European Part of Russia and Forest Management.....	18
<i>O.A. Nevolin, S.V. Tretyakov, O.O. Eremina.</i> Productivity of Mixed Pine Forests in European North of Russia and Forest Management.....	26
<i>WOODEXPLOITATION</i>	
<i>O.M. Sokolov, A.A. Mitrofanov, V.L. Rymashevsky.</i> Problems and Prospects of Transport Development in Forest Industry	37
<i>V.Ya. Kharitonov.</i> Substantiation of Hydrobrake Parameters for Drafts Stoppage.	43
<i>S.I. Morozov, D.N. Shostenko.</i> Determination of Potential Function Parameters under Compression and Collision of Elasto-plastic Bodies.....	50
<i>V.P. Stukov.</i> Improvement of Constructive-technological System of Bridge Framework with Wood-Reinforced Concrete Beams.....	56
<i>V.P. Stukov.</i> Peculiarities of Producing Laminated Bridge Beam Made of Glued Wood.	60
<i>MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE</i>	
<i>G.F. Prokofjev, N.I. Dundin.</i> Main Directions of Woodworking Intensification on Sawmill Equipment.....	65
<i>I.I. Ivankin.</i> Programme for Estimating Supply and Output of Sawn Products....	72
<i>Yu.A. Varfolomeev, L.S. Surovtseva, A.S. Malashkin.</i> Influence of Raw-material Delivery Type on its Quality.....	76
<i>D.V. Ivanov.</i> Preparation of Raw Material for Sawing at Modern Sawmills.....	81
<i>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</i>	
<i>Yu.G. Khabarov.</i> Methods of Lignin Determination.....	86
<i>K.B. Vorontsov, E.D. Gelfand.</i> Treatment of Sulfite Liquors by Liming.....	102
<i>T.E. Screbets, K. G. Bogolitsyn, D. G. Chukchin, S. A. Verbitskaya.</i> Change of Dioxanlignin Characteristics after Alkali Treatment in Ethanol Presence.....	105
<i>ECONOMICS AND MANAGEMENT</i>	
<i>A.Yu. Kharitonov, A.V. Plastinin.</i> Technique for Developing Integrated Cost Index of Enterprise.....	111

COMPUTERIZATION OF TRAINING AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

- A.T. Gurjev, A.A. Blok.* Simulation of Forest Machine Complexes Operation..... 116
A.T. Gurjev, S.V. Torkhov, D.V. Trubin. Information Support of Forest Sector
Processes..... 125

SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE

- E.N. Saburov, S.G. Gorokhov, V.K. Lyubov.* Aerodynamics of Cyclone Double-
chamber Furnace Extension for Wood Wastes Burning..... 135

SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES

- E.V. Novozhilov, N.I. Bogdanovich.* International Seminar in Biotechnology at
ASTU..... 144
-
-

УДК 378.962:06.091.5(091)

ЮБИЛЕЙ АГТУ: 75 ЛЕТ СЛУЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЮ, НАУКЕ, ПРОИЗВОДСТВУ

19 октября 1929 г. в коридорах небольшого, но солидного здания бывшего епархиального училища, на котором крупными буквами было выведено «Архангельский лесотехнический институт», прозвучал первый звонок. Прочитать первую лекцию было поручено назначенному директором института Василию Александровичу Горохову. В лекции по политической экономии речь, по-видимому, шла не только о марксистско-ленинском учении, но и об актуальнейших задачах молодой советской экономики.

1929 год, ставший «годом великого перелома», знаменовал одновременно и первые достижения, и многочисленные проблемы индустриализации страны. В Архангельске и во всем Северном крае это были, прежде всего, проблемы лесной промышленности. Почти двухвековой опыт становления и развития лесопиления и экспорта сменился социалистическим хозяйствованием. К концу 1930 г. на всех 29 лесозаводах «Северолеса» было только два директора со средним образованием и ни одного с высшим. Под их руководством работали всего лишь восемь дипломированных инженеров и два механика. И хотя многие из них были членами ВКП(б), планы часто не выполнялись, перспектива была тревожной.

Очевидно, что потребность в высшем техническом учебном заведении назревала здесь давно. Открытие АЛТИ стало весьма многозначительным событием для экономики края и всего населения. Это был первый вуз в Архангельске и на Севере вообще. Теперь, оглядываясь на прошлое, можно утверждать, что логически и исторически закономерным был процесс и становления института, и его превращения в университет.

Официальное открытие Архангельского лесотехнического института произошло 5 ноября 1929 г. Первый учебный год завершился при контингенте 487 чел., к ноябрю 1930 г. было уже 858 студентов. В 1932 г. состоялся первый (ускоренный) выпуск инженеров, а в конце 1932 г. – первая защита дипломных проектов. В рамках АЛТИ была организована также Всесоюзная промышленная академия в составе пяти отделений для подготовки руководящих кадров.

27 сентября 1935 г. институту присвоено имя В.В. Куйбышева, много сделавшего для основания АЛТИ. Красивый благородный бюст председателя Госплана СССР и ныне украшает вестибюль нашего вуза.

Перед Великой Отечественной войной в АЛТИ было пять факультетов (лесохозяйственный, механизации лесоразработок и транспорта, механической обработки древесины, химико-технологический, лесоэкономический) и 40 кафедр.

Во время войны ученые института предложили целый ряд оригинальных разработок для фронта и тыла. А 1 сентября 1942 г. прямое попадание фугасной бомбы и десятков «зажигалок» вызвали разрушение и пожар

расстроившегося к тому времени главного учебного здания. Однако учебные занятия и научная работа не прекратились.

Двадцатилетие института ознаменовалось двумя важнейшими событиями. Лауреатами Сталинской (Государственной) премии за создание советских цепных электропил для лесозаготовок стали механик Николай Федорович Харламов и доцент Константин Иванович Вороницын, а 17 ноября 1949 г. Архангельский лесотехнический институт первым среди лесных вузов СССР удостоился высокой правительственной награды – ордена Трудового Красного Знамени.

Недолгий период совнархозов был для АЛТИ благоприятным. Именно наш институт получил почетное право издавать «Лесной журнал», возрожденный Минвузом СССР в серии «Известий высших учебных заведений». По инициативе совнархоза и обкома партии АЛТИ постепенно превращался в политехнический вуз. В 1957 г. открыт факультет промышленного и гражданского строительства, в 1960 г. – промышленной теплоэнергетики. На лесомеханическом факультете появилась специальность автомобильный транспорт, на химико-технологическом – технология пластмасс, ЦБП. В 1957 г. открылся заочный, в 1963 г. – вечерний факультет, в 1962 г. – общетехнический факультет при Котласском ЦБК. В 1966 г. возобновлена подготовка инженеров-экономистов. В 1970 г. открыто подготовительное отделение. Прием студентов в 1960 г. перешагнул за 1000 человек. Расширялась учебно-лабораторная база, построены первые кирпичные общежития для студентов, дома для сотрудников, санаторий-профилакторий. Бурно развивались студенческая художественная самодеятельность, спорт, строительные отряды.

В юбилейные дни добрым словом вспоминают многих. Но особо следует выделить руководителей нашего вуза: все они достойно выполняли свой долг. Первый директор АЛТИ В.А. Горохов – крупный специалист лесного дела, талантливый организатор – был необоснованно репрессирован в 1937 г. Его сменил Петр Павлович Попов (1937–1939 гг.). Далее директорами были: Владимир Константинович Волженкин (1931–1941 гг.), Григорий Федорович Рыжков (1941–1948 гг.), Федор Иванович Коперин (1948–1965 гг., с 1961 г. уже как ректор). В 1966–1979 гг. ректором был Иван Михайлович Боховкин, работавший в институте с 1940 г. Как педагог, ученый, администратор он служил для всех высоким примером, стал единственным из коллектива АЛТИ почетным гражданином Архангельска. В 1979–1987 гг. ректором был Евгений Михайлович Боровиков. В 1987 г. институт возглавил Олег Михайлович Соколов.

26 мая 1994 г. приказом Госкомвуза РФ Архангельский лесотехнический институт переименован в Архангельский государственный технический университет, и О.М. Соколов стал его первым ректором.

Выпускники каждой специальности с благодарностью вспоминают своих преподавателей: на лесоинженерном факультете профессоров А.Р. Гибшмана, Г.А. Манухина, В.В. Щелкунова, на химико-технологическом

А.П. Руцкова, Б.Д. Богомолова и др. Легендарными стали имена И.Я. Голосовкера, П.М. Трофимова, А.Н. Сампсонова.

Теплые слова нашлись для десятков преподавателей и сотрудников в фундаментальном труде «Архангельский государственный технический университет: Люди и судьбы. Золотой фонд АЛТИ–АГТУ» (Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 293 с.), создание которого мы связываем с именем Т.А. Гурьева.

С 75-летием нашего вуза совпадает и 10-летие университета. За этот короткий срок молодой университет решительно утвердил себя как быстро прогрессирующий комплексный образовательный и научный центр, имеющий признание и широкие научные связи внутри страны и за ее пределами. В настоящее время АГТУ сотрудничает с университетами Финляндии, Норвегии, Швеции, Польши, Германии. В последние годы возросло число преподавателей, направляемых на стажировку в зарубежные университеты. В 1997–1998 г. осуществлялся крупный проект ТАСИС «Создание структур по подготовке кадров, исследованию и консультированию в области менеджмента на Северо-Западе России».

К юбилею в составе университета утвердились и успешно развиваются учебные институты: экономики, финансов и бизнеса; информационных технологий; нефти и газа; права; новые кафедры: педагогики и психологии; биомедицинской техники; лингвистики и межкультурной коммуникации; факультеты переподготовки кадров, довузовской подготовки. Открыто подготовительное отделение по работе с иностранными студентами.

Высок авторитет научно-исследовательского Института химии и химической технологии древесины (директор К.Г. Боголицын).

Работают филиалы АГТУ в Котласе, Нарьян-Маре, Новодвинске, Мирном. Почти ровесник университета – учебно-опытный лесхоз.

Перечень всех учебных и научных подразделений перечислить невозможно, АГТУ – это университет в полном смысле слова.

Переход к рынку оказался для АГТУ, как и для всей высшей школы, трудным испытанием. Однако теперь уже можно сказать, что руководство и коллектив университета выдержали «экзамен рынка». Неослабевающий поток желающих учиться в АГТУ и высокий конкурс для абитуриентов – убедительные свидетельства авторитета нашего вуза, его надежная база.

Университет стремится дать своим выпускникам не только специальные знания и дипломы, но и развить в них широкий творческий кругозор.

О.М. Соколов,

ректор АГТУ,
засл. деятель науки РФ,
д-р хим. наук, профессор

Е.С. Романов,

д-р экон. наук, профессор

O.M. Sokolov, E.S. Romanov

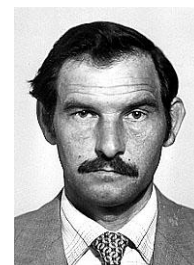
Jubilee of ASTU: 75 Years of Serving Education, Science and Production



УДК 630*24

Г.А. Чибисов, Н.С. Минин

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 академии 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.



Минин Николай Степанович родился в 1949 г., окончил в 1974 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области исследования влияния лесохозяйственных мероприятий на рост, продуктивность и качество древесины в искусственных и естественных древостоях.



РОСТ СОСНЯКОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ РУБОК УХОДА 40-ЛЕТНЕЙ ДАВНОСТИ

Исследованы рост и продуктивность сосняков после рубок ухода различной интенсивности 40-летней давности.

Ключевые слова: сосново-березовые насаждения, зонально-типологические особенности, лесоводственная эффективность, продуктивность.

Смешанные сосняки – одна из наиболее представленных и высокопродуктивных производных формаций на Европейском Севере. Естественный ход роста и развития таких сосняков с разной долей участия лиственных пород (береза, осина) изучали в разных регионах страны. Для условий Севера наиболее полная характеристика сосново-березовых насаждений дана О.А. Неволыным [3, 4] и А.А. Плоховым [5].

Известны два основных направления в исследованиях роли березы в составе сосново-березовых насаждений. Большинство авторов, начиная с крупных лесоводов прошлого, отмечают достоинства смешанных насаждений по ряду положительных свойств и большому хозяйственному значению. Другие авторы решительно отвергают положительную роль примеси березы [1].

Очевидно, что этот вопрос надо рассматривать в зонально-типологическом плане. В хвойно-широколиственном поясе и в южных районах тайги смена сосны березой выражена резче, чем в северных [2]. По данным В.Г. Чертовского [7], на Европейском Севере наиболее продуктивны хвойные леса с примесью 20 ... 30 % лиственных пород на суходольных и 10 ... 15 % на заболоченных почвах. О.А. Неволин [4] также считает наиболее желательной примесь березы 20 ... 30 %.

Для рассмотрения некоторых особенностей формирования и роста сосново-березовых биогеоценозов нами использованы материалы 89 пробных площадей, заложенных в древостоях возраста от 9 до 90 лет с повторными учетами в течение 25 лет.

Сосново-березовые насаждения, как правило, имеют последующее происхождение: сосна поселяется одновременно с березой или на 3 ... 6 лет позже в зависимости от лесорастительных условий. Можно выделить два пути их происхождения: пирогенное и без воздействия лесных пожаров на вырубках. В первом случае в молодняках преобладает сосна (сосново-лиственные), во втором – береза, частично осина (лиственно-сосновые). Такое деление отражает не только различие в происхождении, но и степень напряженности эколого-фитоценологических факторов, взаимоотношений древесных пород и позволяет регламентировать рубки ухода.

Зонально-типологические особенности проявляются в количественном соотношении древесных пород, густоте, росте сосны. С ухудшением лесорастительных условий, повышением их напряженности с юга на север и от высокопроизводительных типов леса к менее производительным увеличивается общая густота, интенсивность самоизреживания, уменьшается доля участия березы. Характерна динамика представленности от березово-сосновых насаждений, в которых принимает участие осина и частично ель, до сосново-березовых.

В целом насаждения характеризуются большой густотой, высокой сомкнутостью горизонтального полога, напряженностью эколого-фитоценологических факторов.

Состав при естественном развитии изменяется медленно. Кульминация напряженности роста находится в причинно-следственной связи с составом и густотой. Взаимоотношения древесных пород носят выраженный характер конкуренции, неблагоприятной для нормальной жизнедеятельности сосны. Отпад по породам зависит от доли их участия в составе: если преобладает береза, ее отпад меньше, чем у сосны. При общей высокой густоте и незначительном участии сосны (до 3-4 единиц) она вообще может не сохраниться. В березово-лиственно-сосновых насаждениях при их естественном развитии возможны необратимые или устойчивые процессы смены сосняков на березняки.

Предотвратить такую смену или оказать воздействие на рост сосны при различном породном составе способны только рубки ухода. Их лесоводственная эффективность может быть определена на основе длительных исследований роста и состояния насаждений. Достоверность получаемой ин-

формации зависит от давности проведения рубок ухода. По мнению С.Н. Сеннова, « ... только на основе длительных наблюдений можно установить зависимость роста древостоев ..., возрастную динамику отпада и полного прироста древостоев ...» [6].

Эффективность рубок ухода нами рассматривается на примере двух серий постоянных пробных площадей (ПП) в средней подзоне тайги, отличающихся, прежде всего, возрастом проведения уходов. По давности рубок ухода (42-43 года) и их интенсивности эти объекты на Европейском Севере являются уникальными. Некоторые результаты были опубликованы ранее [8, 9].

Первая серия пробных площадей (14К-59, 15-59, 16-59, 17-59, 1-59) представлена сосняками чернично-брусничного типа леса, пройденными рубками ухода разной интенсивности в возрасте 15 лет. Проведены два варианта ухода: линейно-селективный (1-59, ширина коридоров и кулис по 3 м) и равномерно-селективный. В кулисах и при равномерном уходе деревья отбирали с использованием хозяйственно-биологической классификации. Эффективность уходов проанализирована на основе восьми повторных учетов (в среднем через 5 лет).

Вторая серия пробных площадей (К-52, 1-52, 2-52, 5-52) заложена в древостоях 30-летнего возраста (тип черничный) равномерно по площади, рубки ухода разной интенсивности. Повторные учеты проводили четыре раза.

Таксационная характеристика насаждений представлена в табл. 1. Интенсивность рубок ухода на первой серии пробных площадей достигала 80 % по числу стволов сосны и 60 % по запасу, на второй серии соответственно около 50 и 30 %. При этом важна не интенсивность как таковая, а оставшаяся часть.

Для оценки влияния интенсивности разреживаний представляет интерес динамика естественного отпада. После рубок ухода в 15-летнем древостое отпад наблюдается в основном до 30 лет и за 40 лет в зависимости от исходной густоты составляет 15 ... 40 %. В насаждениях без рубок ухода отпад продолжается до 50 лет и составляет 70 % по числу стволов сосны.

Динамика отпада по числу стволов и периодам учетов представлена в табл. 2.

Такова же закономерность отпада и на второй серии пробных площадей (табл. 3).

Вероятно, поскольку рубки ухода проведены позже (в 30 лет), отпад по возрасту растягивается. Тем не менее к 70-летнему возрасту густота древостоев с рубками ухода и естественно развивающихся имеет тенденцию к стабилизации.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений, пройденных рубками ухода

ПП	Возраст, лет	Состав, %		Число стволов, тыс. шт./га	Средние				Площадь поперечных сечений, м ² /га	Запас м ³ /га
		по числу стволов	по запасу		диаметр, см	высота, м	высота живой ветки, м	диаметр кроны, м		
14К-59 (контроль)	19	8С	–	4,9	4,2	4,3	0,9	1,1	6,8	21
		Всего	–	6,3	–	–	–	–	–	26
	58 (43 года после уходов)	6С	7С	1,4	15,1	16,0	–	–	25,2	198
		Всего	–	2,4	–	–	–	–	36,7	278
15-59 (четвертый год после ухода)	19	10С	10С	1,7	5,8	5,2	0,7	1,6	4,4	15
	58	10С	10С	0,8	21,4	19,5	9,9	3,5	27,9	262
16-59	19	10С	10С	1,0	5,7	4,9	0,6	1,6	2,6	9,0
	58	10С	10С	0,9	20,1	18,6	8,5	4,0	28,0	253
17-59	19	10С	10С	0,7	6,2	4,8	0,6	1,8	2,2	7,0
	58	10С	10С	0,6	24,0	18,6	10,3	4,9	26,2	236
1-59	19	10С	10С	1,1	5,9	4,5	0,6	1,6	2,9	9,0
	58	10С	10С	0,7	24,1	18,8	7,8	4,8	31,2	284
К-52 (контроль)	30	7С	–	1,5	13,1	10,4	–	–	16,6	104
		Всего	–	2,0	–	–	–	–	18,6	130
	72	7С	9С	0,9	20,9	23,2	–	3,2	31,9	349
1-52	30	Всего	–	1,4	–	–	–	–	35,8	367
		10С	10С	1,3	14,0	11,4	–	–	19,4	117

	(после уходов)									
	72	10С	10С	0,9	22,3	24,5	–	2,9	34,7	397
5-52	30	10С	10С	1,1	13,8	10,2	–	–	15,9	88
	72	10С	10С	0,7	24,8	24,5	–	3,6	36,5	418
2-52	30	10С	10С	0,7	16,1	11,2	–	–	13,6	80
	72	10С	10С	0,6	26,1	25,1	–	4,0	31,0	363

Примечание. На ПП 15-59 в возрасте 42 года проведен второй прием рубок ухода (через 27 лет после первого) интенсивностью 40 % по числу стволов.

Таблица 2

Отпад после рубок ухода (числитель—число стволов, шт./га; знаменатель – м³)

ПП	Возраст, лет				Итого
	30...57	58...62	63...67	68...72	
К-52	<u>633</u>	<u>292</u>	<u>108</u>	<u>50</u>	<u>1083</u>
	19	15	8	3	45
1-52	<u>240</u>	<u>180</u>	<u>140</u>	<u>45</u>	<u>605</u>
	13	16	25	3	57
5-52	<u>212</u>	<u>145</u>	<u>115</u>	<u>45</u>	<u>517</u>
	11	8	15	5	39
2-52	<u>4</u>	<u>39</u>	<u>40</u>	<u>4</u>	<u>87</u>
	1	3	6	0	10

Таблица 3

Динамика таксационных показателей по годам исследований

ПП	Период после рубок ухода, лет	Число стволов, тыс.шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас, м ³ /га
14К-59	13	6,2/4,8	6,4	64	81/61
	18	5,6/4,3	7,8	8,7	138/106
	23	4,9/3,5	9,3	10,2	177/133
	27	3,6/2,2	11,6	12,7	209/152
	33	2,9/1,7	12,8	14,5	228/163
	38	2,5/1,5	14,4	15,3	253/181
15-59	13	7,4	11,3	8,5	69
	18	1,4	13,2	10,5	109
	23	1,4	14,5	12,1	144
	27	1,3/0,79	15,6/17,9	14,0/14,7	177/148
	33	0,79	18,7	17,3	191
	38	0,78	20,6	18,0	228
16-59	13	0,97	11,6	8,4	49
	18	0,96	14,1	10,4	82
	23	0,96	15,6	12,2	111
	27	0,93	16,8	13,5	142
	33	–	–	–	–
	38	0,88	19,5	17,2	222
17-59	13	0,74	13,7	8,4	53
	18	0,74	16,5	10,9	89
	23	0,72	18,2	12,2	119
	27	0,69	19,5	14,3	150
	33	–	–	–	–
	38	0,62	22,6	17,8	216

Примечание. На ПП 14К-59 в числителе общее число стволов и запас, в знаменателе – сосны; на ПП 15-59 в числителе данные до второго ухода, в знаменателе – после него. Показатели через 4 и 43 года приведены в табл. 1.

Нельзя считать, что насаждения 15-летнего возраста (диаметр 1,5 см, высота 2,5 ... 3,0 м) достаточно сформировались по всем фитоценотическим показателям. О росте и состоянии насаждений в новом качестве можно говорить уже в первые годы после рубок ухода. При этом существенное значение имеет оставшаяся густота и, как следствие, изменение экологических факторов. Сложившееся отличие от контроля по высоте и диаметру (табл. 3) за счет отбора деревьев при разреживании (как бы «механическое» увеличение) не только сохраняется, но и возрастает на протяжении 40 лет. Если в первые годы после уходов оно составляло по средним диаметрам 1,5 ... 4,0 см, высоте 0,5 ... 1,0 м, то через 43 года увеличилось соответственно до 5,0...7,5 см и 2,5 м за счет прироста, полученного в результате рубок ухода.

Запас сосны восстановился до контрольного через 25 лет после разреживания. В возрасте 58 лет разница с контролем в зависимости от исходной густоты составила 38 ... 64 м³/га. При густоте 1,7 тыс. шт./га запас восстановился через 10 лет.

При одинаковой исходной густоте, но разных методах ухода (ПП 16-59, 1-59) наибольший запас через 43 года (выше контрольного на 86 м³/га) обеспечивают линейно-селективные рубки.

На второй серии пробных площадей изменения в росте насаждений в целом аналогичны. Запас восстановился через 20 ... 25 лет, при очень сильном изреживании (ПП 2-52) – через 30 лет.

Интересно проследить динамику высоты, диаметра и запаса в зависимости от густоты. Как правило, высота и диаметр с увеличением густоты снижаются. Наибольший запас в 60-70-летних насаждениях наблюдается при густоте 780 ... 750 шт./га.

Средний периодический прирост по запасу через 25 лет после разреживания (первая серия) составляет 96 ... 103 % к контролю, через 40 лет 150 ... 220 %.

Хорошим показателем условий роста и его напряженности является отношение диаметра к высоте (D/H). По средним диаметру и высоте насаждений без рубок ухода на протяжении 40 лет оно в основном равняется 0,9, наибольшее при низкой густоте. Через 10 ... 15 лет после рубок ухода (первая серия пробных площадей) оно составляет 1,6, к возрасту 60 лет – 1,3. Это свидетельствует о более интенсивном приросте по диаметру, чем по высоте. Особенности в росте наблюдаются в пределах групп деревьев по толщине. Реакция различных деревьев усиливается с увеличением интенсивности уходов, но абсолютное значение текущего прироста и тенденция его изменения неодинаковы для деревьев разных рангов. Наиболее интенсивный рост по диаметру и объему отмечен у деревьев в основном при минимальной густоте насаждений.

Характер распределения стволов по рангам изменяется в зависимости от густоты. С ее уменьшением ранг среднего дерева увеличивается. В результате рубок ухода концентрация деревьев в центральных ступенях толщины возрастает в 2-3 раза по сравнению с контролем, распределение

приближается к нормальному. Сближение предельных относительных минимального и максимального диаметров происходит быстрее, чем в контроле.

Динамику восстановления строения насаждений после рубок ухода можно представить следующим образом. На первых этапах прирост, пропорциональный толщине деревьев, т. е. относительный, у средних деревьев по толщине выше, чем у максимальных, а у минимальных выше, чем у средних. Это обуславливает сближение предельных минимальных и максимальных редуцированных чисел и накопление деревьев в центральных ступенях толщины. В последующем относительный прирост не зависит от толщины, наблюдается постоянное фиксированное положение минимальных и максимальных редуцированных чисел. С увеличением давности рубок ухода дифференциация прироста в большей степени определяется положением деревьев в насаждении. Это проявляется в уменьшении относительного прироста минимальных и максимальных деревьев по сравнению со средними. Распределение сдвигается в сторону минимальных редуцированных чисел, и в целом восстанавливается строение насаждений с естественным ходом роста. Анализ хода роста сосняков разного возраста и густоты свидетельствует, что при D/H , равном или близком к единице, форма стволов древостоя наилучшая и запас древесины наибольший.

Структура деревьев в насаждениях соответствует следующей градации. Деревья с $1,0 < D/H < 1,6$ занимают господствующее положение; с $D/H < 0,8$ имеют менее развитую крону и ослабленный рост по диаметру; с $D/H < 0,6$ переходят в отпад; с $D/H > 1,6$ – деревья «волки», имеют ослабленный прирост по высоте. Используя эти показатели при отборе деревьев в рубки ухода, можно регулировать и прогнозировать не только прирост, но и качество формируемых деревьев, древесины и запаса.

Продуктивность можно оценить на примере 72-летних древостоев (табл. 4).

Таблица 4

Продуктивность древостоев после рубок ухода ($\text{м}^3/\text{га}$)

ПП	Вырублено	Отпад	Запас растущего древостоя	Прирост по запасу сосны после уходов		Продуктивность после уходов		Общая продуктивность
				всего	в среднем за год	всего	в среднем за год	
К-52	–	<u>50</u>	<u>367</u>	245	5,8	290	6,9	<u>417</u>
		45	349					394
1-52	23	<u>57</u>	<u>420</u>	280	6,7	389	9,3	<u>500</u>
		57	397					477
5-52	52	<u>39</u>	<u>421</u>	330	7,8	481	11,4	<u>512</u>
		39	418					509
2-52	60	<u>10</u>	<u>365</u>	283	6,7	353	8,4	<u>435</u>
		10	363					433

Примечание. В числителе данные для древостоя в целом, в знаменателе – для сосны.

Прирост сосны по запасу после рубок ухода (за 42 года), а также средний за год выше контрольного на 15 ... 35 %; продуктивность (прирост по запасу, вырубаемая масса, отпад) – на 22 ... 66 %; общая продуктивность с учетом исходного запаса – на 10 ... 30 %.

Все эти показатели зависят от густоты. Наибольшая продуктивность обеспечивается при оставлении после рубок ухода в возрасте 30 лет 1,1 тыс. стволов на 1 га. Со снижением густоты (до 67 % по сравнению с контролем) увеличивается средний объем ствола.

В заключение можно отметить следующее.

Высокоинтенсивные (особенно по числу стволов) рубки ухода в смешанных сосняках эффективны по количественной продуктивности. При этом важны состав, густота, возраст. Недостатком анализируемых опытов является почти полная вырубка лиственных пород (прежде всего березы).

Дискуссия о возможности повышения продуктивности сосняков рубками ухода безотносительно к зонально-типологическим особенностям, строению, структуре древостоев, режиму рубок ухода абстрактна. Если говорить только о количественной продуктивности, то ее нужно учитывать не на отдельных возрастных этапах (видах рубок ухода), а по всему циклу лесовыращивания до возраста рубок главного пользования.

Общая оценка эффективности рубок ухода должна складываться из нескольких слагаемых: количественная, качественная, биологическая, экологическая, социально-экономическая продуктивность. Их можно рассматривать как в отдельности – в зависимости от целей лесовыращивания, так и в комплексе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буш К.К., Иевинь И.К. Экономические и технологические основы рубок ухода. – Рига: Зинатне, 1984. – 172 с.
2. Мелехов И.С. Лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.
3. Неволин О.А. К вопросу о строении смешанных сосново-березовых древостоев // Лесн. журн. – 1966. – № 4. – С. 12–16. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Неволин О.А. Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера. – Архангельск, 1969. – 103 с.
5. Плохов А.А. Некоторые результаты изучения взаимоотношений сосны с березой в средней тайге // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по вопросам питания древесных растений и повышения продуктивности насаждений. – Петрозаводск, 1966. – С. 134–135.
6. Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. – СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. – 12 с.
7. Чертовской В.Г. Некоторые вопросы экологии таежных лесов // Экология таежных лесов. – Архангельск, 1978. – С. 5–10.
8. Чибисов Г.А., Минин Н.С. Фитомасса сосняков разной густоты после рубок ухода // Лесн. хоз-во. – 1997. – № 4. – С. 31–32.

9. Чибисов Г.А., Поротов В.Н., Москалева С.А. Эффективность рубок ухода в смешанных сосняках Европейского Севера // Рубки ухода и главного пользования на Европейском Севере. – Архангельск, 1980. – С. 6–29.

Северный НИИ лесного хозяйства
Архангельский государственный
технический университет

Поступила 13.02.03

G.A. Chibisov, N.S. Minin

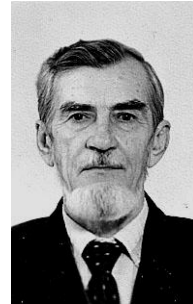
Growth of Pineries Influenced by Thinning Realized 40 Years Ago

Growth and productivity of pineries were investigated after thinning of different intensity realized 40 years ago.

УДК 630*2(470.1)

Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков

Семенов Борис Алексеевич родился в 1937 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет около 150 печатных работ в области изучения природы лесов Крайнего Севера и ведения в них хозяйства.



Цветков Василий Фролович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 270 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, социальной экологии и охраны окружающей среды на Севере.



ПРИРОДА ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ОСНОВЫ ХОЗЯЙСТВА В НИХ

Даны представления о границах, особенностях географии притундровых лесов. Представлены структура земель, районирование территории с выделением двух лесорастительных областей. Рассмотрена типологическая структура всех формаций преобладающих пород, вскрыты закономерности лесовозобновительных процессов. Изложены основные принципы организации лесоводства.

Ключевые слова: притундровая зона, структура земель, типы леса, лесовозобновление, система хозяйства.

Обширные территории по северному фасаду Евразии заняты экосистемами тундры и лесотундры. Некоторые географы и лесоводы рассматривают ботанико-географическую зону лесотундры как зону (подзону) притундровых лесов (*tajga-tundra forest*). И хотя это понятие не получило всеобщего признания, такое суждение правомерно. На землях с высокой долей лесной растительности хозяйство и охрану лесов эффективнее могут выполнять лесоводы, а не аграрии, тем более не военные или водники. Одна из важнейших задач при этом – сохранение средостабилизирующих климатозащитных функций лесов. Вот почему в 1959 г. было принято постановление СМ РСФСР [1] о создании на территориях лесотундры притундровой полосы лесов климатозащитного назначения как специальной хозяйственной части государственного лесного фонда страны.

Однако эта полоса не охватывает всех территорий с лесной растительностью на северном пределе ее распространения. В связи с этим объект рассмотрения проблемы северных территорий существенно расширяется.

Так, в пределах Архангельской области и Республики Коми площадь притундровых лесов превышает 16, а вместе с Мурманской областью – 21 млн. га. В европейской части России они протянулись от границы с Финляндией в Мурманской области до Полярного Урала (Республика Коми). Значительная часть территории зоны (подзоны) представлена сообществами низкорослых мелколесий, редколесий, кустарниковыми образованиями. Эти территории большей частью входят в область интересов оленеводства – такой же слабой отрасли, как лесное хозяйство. Огромные пространства притундровых лесов сегодня даже не охраняются должным образом. Между тем крайне северные леса остаются последними из территориальных образований, где еще сохраняется возможность изучения крупных природных объектов, не подвергшихся влиянию человека.

Активное вовлечение притундровых лесов в широкое промышленное освоение при использовании морально устаревших малоэкологичных технологий неизбежно влечет за собой масштабную деградацию природных комплексов, разрушение лесных экосистем, утрату ими средообразующих и средостабилизирующих защитных функций.

Лесорастительные условия рассматриваемых пространств Заполярья весьма неоднородны. Разнообразны не только геология и рельеф, но также климатические, почвенные, гидрологические условия, структура земель и растительные формации, типологический спектр лесов, условия возобновления, рост, продуктивность и товарность насаждений, характер и интенсивность воздействия на экосистемы антропо- и пирогенных факторов, хозяйственная освоенность территорий.

В европейской части страны нами выделены две притундровые лесорастительные области: Кольская горная и Восточно-Европейская равнинная [10]. Лесистость первой немного превышает 43, второй – около 46 %. Доля болот и тундр оценивается соответственно 37 и 13 %, 27 и 21 %. В притундровой полосе Мурманской области произрастают леса березовой (40 %), сосновой (31 %) и еловой (30 %) формаций. Средний класс возраста VI, 7; средний класс бонитета Va, 8; средняя полнота 0,45. Леса Восточно-Европейской области несколько старше (VIII класс возраста), полнее (0,51) и продуктивнее (Va, 6 класс бонитета).

Насаждения, отнесенные нами к Кольской области, лесоустройством объединены в 14 типов местообитаний, среди которых наиболее представлены черничные (44 %), брусничные (17 %), вороничные (12 %) и беломошные (почти 11 %). Леса всех формаций и практически всех типов леса здесь представлены как равнинными, так и горными вариантами. На территории Восточно-Европейской области типологическая структура лесов выявлена лишь на 54 % покрытой лесом площади. Всего здесь выделено 37 типов насаждений. Наиболее распространены черничный (25 %), долгомошный (20 %) и сфагновый (16 %) типы, представлены также сообщества ерничкового типа (7 %).

Средние запасы древесины в спелых истощенных неумеренной эксплуатацией лесах разных формаций Мурманской области колеблются от

17 до 85 м³/га. В Восточно-Европейской области, в связи с низкой освоенностью рубками, запас несколько выше. В ельниках кисличных и травяных он может превышать 150 ... 180, в сфагновых достигает 40 ... 70 м³/га. Наиболее продуктивны реликтовые пойменные лиственничники (в отдельных случаях 200 м³/га и более). Продуктивность лесов постепенно падает при продвижении с запада на восток, особенно к востоку от Белого моря и Тимана.

Остаются слабо изученными типы леса региона. Многолетние исследования авторов [7, 9, 10] позволили объединить лесные сообщества еловой, сосновой, лиственничной, березовой формаций, включая редколесья и криволесья, в шесть групп типов местообитаний: лишайниковую, зеленомошную, долгомошную, сфагновую, травяную и кустарниковую [3]. Характерной особенностью групп и типов леса Кольского полуострова и западного Предуралья является повышенная мозаичность и пестрота биогеоэкологической структуры насаждений, что связано с выраженностью рельефа.

Леса имеют разную возрастную структуру [5, 7, 10]. Ельники повсеместно преимущественно типично разновозрастные и условно разновозрастные. Возраст деревьев ели основного полога в лишайниковых типах колеблется от 100 до 190, а в сфагновых от 180 до 295 лет. Судя по колебаниям коэффициентов вариации возраста (12,9 ... 13,3 %), лишь ельники лишайниковые приближаются к условно одновозрастным. Дифференциация древостоев на поколения сопровождается уменьшением коэффициента вариации (до 4 ... 21 %). При установлении режимов хозяйствования выделение отдельных поколений не оправдано. В ельниках имеется небольшая примесь березы, сосны, на востоке – лиственницы. Исключение составляют ельники, образующиеся на месте лиственничников как следствие вытеснения коренной породы.

В сосняках возрастная структура также неоднородна [2, 6, 8]. Выявляются одновозрастные, относительно одновозрастные и разновозрастные сосняки. Образование разновозрастных (чаще ступенчато-разновозрастных с 2-3 поколениями) древостоев связано с трансформацией одновозрастных сосняков под влиянием пожаров или выборочных рубок. Разность предельных возрастов в разновозрастных сосняках обычно не превышает 180, в некоторых случаях достигает 200 ... 360 %.

В составе сосняков обычна примесь ели, березы, иногда осины, на востоке также лиственницы. Последняя в смешанных древостоях, как правило, старше сосны и других пород. Возраст ели в основном близок к возрасту сосны и практически всегда выше, чем у березы. Елово-березовые древостои чаще всего условно разновозрастны или разновозрастны (можно выделить 2-3 поколения). На большей части территории древостои этого типа двухъярусны.

Лиственничники зеленомошной группы типов (распространенные на востоке, преимущественно в Республике Коми) также, как правило, двухъярусные: в первом ярусе лиственница с сосной и елью, во втором береза с елью. Лиственничный элемент леса часто – условно одновозрастный ($C = 7 \dots 11 \%$). Сосновая часть древостоев условно разновозрастная или

разновозрастная. Ель и береза в лиственничниках также отличаются большой пестротой возрастов. В коренных лесах средний возраст лиственницы обычно превышает IX класс и достигает 230 ... 270 лет.

Довольно широко на Крайнем Севере представлены березняки. Эко-системы этого вида формаций в лесоводственном отношении изучены слабо, поскольку мало осваиваются. На Кольском полуострове на их долю приходится около 40, в Восточно-Европейской области – 16 %. В северной части подзоны большая их часть – коренные спелые и перестойные древостои, в южных районах нередко преобладают производные (послепожарные) разновозрастные древостои. Все березняки разделены нами [10] на условно разновозрастные (древесный ярус сформировался за 11 ... 15 лет, $C = 12$ %) и разновозрастные (период формирования более 15 лет, $C = 20,2$ %). Еловый элемент в березняках условно разновозрастный или разновозрастный, иногда разновозрастный ($C = 3-4$ %). В большинстве случаев ель и береза поселились здесь одновременно или ель запаздывала на 2 ... 46 лет.

В строении древостоев по диаметру и высоте имеются некоторые особенности: амплитуда рядов распределения по естественным ступеням толщины заметно шире, выражена асимметрия рядов распределения. Простслеживаются различия с типично таежными древостоями по структуре полога (протяженность, поперечник, форма кроны, длина бессучковой зоны деревьев, вертикальная и горизонтальная сомкнутость, характер размещения деревьев). Древостои всех пород медленнее растут в высоту и толщину, у них позднее наступает количественная спелость, больше фаутиность и др.

Возобновление древесных пород под пологом, на вырубках и гарях проходит в целом удовлетворительно, хотя и с некоторой задержкой относительно типично таежных лесов. Несмотря на более редкое плодоношение и низкое качество семян, под пологом сосняков и ельников накапливается значительное количество разновозрастного подроста ели и сосны, способного при благоприятных условиях сменить материнский древостой. В ельниках повсеместно расселяется ель, в сосняках – сосна и ель с участием березы, в лиственничниках – ель, сосна и береза. После пожаров под пологом лиственничников возобновляется главная порода вместе с сосной и березой. Численность подроста несколько ниже, чем в таежных лесах, но зато лучше представлены более крупные его категории.

Лесовозобновление на участках, сведенных рубками или уничтоженных пожарами, протекает более напряженно, чем в таежных лесах. Как и в условиях тайги, здесь существенно различаются возобновительные процессы разных формаций преобладающих пород. В местообитаниях сосновой формации возобновление проходит значительно успешней, особенно в Кольской лесорастительной области [4, 6, 8]. В еловой и лиственничной формациях вырубки нередко зарастают луговиком, что препятствует появлению древесной растительности. На таких участках поселяются лишь отдельные экземпляры ели, а спустя 8 ... 10 лет возобновление главной породы вообще прекращается. Процесс возвращения ели, особенно если подрост уничтожен в летний период, затягивается на многие десятилетия. Гари в ме-

стообитаниях ельников обычно долгое время остаются пустырями. Здесь, особенно на востоке, затруднено поселение даже лиственных. Лишь через 5 ... 10 лет после березы появляются мхи и лишайники, а затем – ель, но накопление ее идет медленно и формируется разновозрастный подрост.

В ряде районов значительный урон возобновлению, состоянию лесных сообществ и росту насаждений наносит промышленное загрязнение атмосферы в результате выброса аэрозолей горнодобывающими, нефтедобывающими и металлургическими предприятиями. Леса гибнут, на их месте образуются пустыри и настоящие техногенные пустыни [8]. На огромных площадях в почве накапливаются токсиканты, которые попадают в водоемы и распространяются на большие расстояния. Возобновление на участках с загрязненными почвогрунтами задерживается на многие десятилетия, даже при активном содействии человека.

Сохранение в стабильном состоянии северных территорий возможно при сохранении экосистем притундровых лесов, поддержании приемлемых параметров окружающей среды, смягчении негативных последствий глобального изменения биосферных процессов и климата. При разработке стратегии щадящего природопользования на Крайнем Севере необходимо учитывать буферную способность лесных ландшафтов по отношению ко всем антропогенным воздействиям. Однако возобновляемость лесных ценозов во многом обусловлена силой и характером внешних воздействий. Она может быть успешной лишь в определенном диапазоне антропогенного пресса. Темпы восстановления утраченного равновесия экосистем отстают от технического развития и темпов социальных перестроек в человеческом обществе. С накоплением этого дисбаланса возрастает опасность детериорации природных комплексов.

В настоящее время в притундровых лесах разрешаются только реконструктивные, санитарные рубки и рубки ухода [5, 9]. На наш взгляд, неоправданно запрещены здесь сплошные рубки небольшими площадями. В ряде местообитаний они являются наиболее эффективным средством реконструкции перестойных, нуждающихся в омоложении древостоев. Разумеется, проводить сплошнолесосечные рубки на Крайнем Севере можно только под строгим контролем специалистов и только в ограниченных масштабах (для местных бытовых нужд). Лесоводами Архангельска [5, 7–10] давно разработаны специальные щадящие приемы таких рубок.

В целях получения древесины и переформирования насаждений в ряде районов необходимо применять специальные приемы выборочных, иногда длительно-постепенных рубок. При этом важно строго соблюдать определенные требования, ограничивать площадь рубки, контролировать лесовозобновительные процессы. Рубки желательно проводить в зимний период при устойчивом снежном покрове, используя легкие, маневренные механизмы на колесном ходу с узкой колеей. Вполне оправдано также применение конной тяги.

Высокая фаутичность лесов оправдывает применение выборочных санитарных рубок. Главным критерием этого мероприятия должна быть дос-

таточно высокая сомкнутость насаждений. В рубку следует назначать только перестойные, фаутные, погибшие и теряющие защитные свойства элементы древостоев. Повреждения остающейся части древостоев должны быть минимальны. Осуществляемые сегодня санитарные реконструктивные рубки не обеспечивают нужного лесоводственного эффекта. Использование тяжелых механизмов часто не только не способствует оздоровлению насаждений, но даже ускоряют их деградацию и распад.

В притундровом лесоводстве остаются пока не решенными вопросы: искусственного восстановления лесов, в частности обеспечения лесокультурного производства районированными семенами, применения интродуцентов; воссоздания средообразующих функций (ветро-, водо-, почвозащитных); поддержания генофонда и биологического разнообразия лесных биогеоценозов. По-прежнему пристального внимания требует охрана лесов от пожаров, в частности оперативность обнаружения, локализации и тушения очагов огня. В директивных лесоводственных документах не всегда учитывается повышенная опасность лесных пожаров.

Поскольку остановить пользование лесом на обжитых человеком территориях Крайнего Севера практически нереально, требуется найти компромиссные решения. Следует обратиться к выработанным еще в 80-90 гг. прошлого века особым стратегии и тактике природопользования в притундровых лесах. Очевидно, что генеральной линией их использования остается режим обязательного сохранения средостабилизирующих природоохранных и разнообразных защитных функций. Первостепенное значение приобретает поддержание лесных земель в лесопокрытом состоянии. Многие здесь зависят от деятельности человека. Улучшение природных свойств лесных сообществ, повышение их ресурсно-сырьевого и экологического потенциала могут быть обеспечены лишь при широком применении целевых мероприятий (лесовосстановительные, мелиоративные, реконструктивные), что требует больших затрат.

Сущность лесопользования в притундровых районах должна быть природосохраняющей. Основные положения предлагаемой системы лесоводства сводятся к следующему:

необходимо соблюдать установленные наукой соотношения и определенные рамки для различных видов пользований, полезностей, свойств лесов, вовлекаемых в освоение. Для этого нужна регламентация не по административным территориальным единицам, а на ландшафтно-экологической (побассейновой) основе;

использование ресурсов одного вида не должно приводить к прекращению использования других ресурсов;

притундровые экосистемы, в связи с их невысокой биологической продуктивностью, отличаются пониженной самовозобновляемостью и самоочищаемостью, что обуславливает введение определенных ограничений на нагрузки и режимы пользования;

уровень освоения ресурса не должен повышать риск ухудшения экологической ситуации;

наиболее объективным критерием допустимости использования биологически возобновляемых ресурсов (таких как лес) является продуктивность экосистем;

особого внимания требует нормирование нагрузок на почвогрунты лесных сообществ. Эти нагрузки должны быть ниже, чем в таежных лесах;

следует пересмотреть критерии успешности лесовозобновления. Хозяйственно приемлемый период накопления численности древесных растений после рубок и пожаров должен быть на 30 ... 50 % продолжительнее, чем в тайге;

необходимо предусмотреть широкое резервирование территорий и заповедание природных комплексов для сохранения ряда редких и уникальных природных, экологически важных биологических систем и ландшафтов;

должна быть реализована система мероприятий по передаче и закреплению за местными органами управления исключительного права на хозяйствование и освоение в лесфонде промысловых угодий, оленьих пастбищ, водоемов.

Одним из важнейших условий хозяйствования в притундровых лесах является согласованность различных направлений деятельности. В частности, отмечаемое сокращение площадей оленьих пастбищ требует интеграции интересов оленеводства и лесоводства. При очередной инвентаризации земель следует предусмотреть различные формы их комплексного использования, узаконить ряд ограничений и придержек, обеспечивающих минимизацию взаимного ущерба, а также меры по восстановлению угодий, повышению биологической продуктивности экосистем.

Упорядочение использования природных ресурсов с учетом интересов всех природопользователей должно стать основной целью новых лесохозяйственных мероприятий. В проектах хозяйствования необходимо обосновать мероприятия по согласованию интересов лесоводства и оленеводства с деятельностью изыскательских организаций, предприятий нефтегазового комплекса. Требуется выработать единую систему охраны от пожаров.

Сохранение притундровых лесов возможно лишь при регулировании и координации всех направлений деятельности человека на Севере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об установлении защитных полос в северной части притундровых лесов: Постановление СМ РСФСР от 16 мая 1959 г. № 798 // СП РСФСР. – № 4. – С. 45.
2. Семенов Б.А. Сравнительная характеристика притундровых и северотаежных сосняков Архангельской области и Республики Коми // Проблемы динамической типологии: Матер. конф. – Архангельск, 1995. – С. 107–109.
3. Семенов Б.А., Паршевников А.Л. Типологические схемы притундровых лесов и редколесий Архангельской области и Республики Коми. – Архангельск: ООО «Пресс Принт», 2000. – 19 с.
4. Семенов Б.А., Цветков В.Ф. Лесорастительное районирование притундровой зоны европейской части СССР // Северные леса: состояние, динамика, антропогенные воздействия: Тез. докл. на Междунар. симп. Ч. 2. – М., 1990. – С.188–199.

5. Семенов Б.А. и др. Притундровые леса европейской части России: природа и ведение хозяйства / Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков, Г.А. Чибисов, Ф.П. Елизаров. – Архангельск, 1998. – 332 с.

6. Цветков В.Ф. Системы лесоводства Европейского Севера // Северные леса: состояние, динамика, антропогенные воздействия: Тез докл. на Междунар. симп. Ч. 1. – М., 1990. – С. 67–80.

7. Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и система ведения хозяйства в них. – Архангельск, 2002. – 386 с.

8. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки Крайнего Севера. – М.: Агропромиздат, 1985. – 116 с.

9. Цветков В.Ф., Семенов Б.А., Чибисов Г.А. Ведение лесного хозяйства в притундровых лесах СССР // Управление лесами и соврем. достижения лесной науки в СССР. – М., 1990. – С. 155–168.

10. Чертовской В.Г. и др. Предтундровые леса / В.Г. Чертовской, Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков и др. – М.: Агропромиздат, 1987. – 169 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 31.10.03

B.A. Semenov, V.F. Tsvetkov

Nature of Pre-tundra Forests in European Part of Russia and Forest Management

Overview of boundaries, geographical peculiarities for pre-tundra forests is given. Land structure, territory zoning with marking two forest-growing areas are provided. Typological structure of all formations with prevailing species is considered, reforestation processes regularities are revealed. Main principles of silviculture are set forth.

УДК 630*5:630*6

О.А. Неволин, С.В. Третьяков, О.О. Еремина

Неволин Олег Алексеевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, заслуженный лесовод России. Имеет 125 печатных трудов в области изучения высокопродуктивных лесов Севера и организации хозяйства в них, истории лесного хозяйства и лесоустройства.



Третьяков Сергей Васильевич родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета. Имеет 36 печатных трудов в области изучения лесных ресурсов и лесопользования, закономерностей роста и продуктивности смешанных лесов Севера.



Еремина Ольга Олеговна родилась в 1956 г., окончила в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры геодезии и земельного кадастра Архангельского государственного технического университета. Имеет 13 печатных трудов в области возобновления и продуктивности сосновых лесов Севера.



ПРОДУКТИВНОСТЬ СМЕШАННЫХ СОСНЯКОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ХО- ЗЯЙСТВА В НИХ

На основании материалов 40-летних исследований даны практические рекомендации по восстановлению высокопродуктивных истребленных сосновых лесов.

Ключевые слова: сосняки, хозсекции, оборот и возраст рубки, способы рубок, лесовосстановление, рубки ухода.

Среди высокопродуктивных сосновых лесов Европейского Севера России наиболее полно представлены смешанные сосново-березовые с елью и сосново-еловые с березой насаждения I, II и III классов бонитета, кислично-травяного, кисличного и черничного типов леса. Все они, как правило, одновозрастные, имеют послепожарное происхождение.

Техническая спелость по максимальному среднему годовичному приросту ведущих сортиментов (пиловочные бревна крупных и средних размеров) в этих насаждениях наступает в возрасте 80 лет у сосны и березы, в

100 ... 110 лет у ели. К этому возрасту наиболее часто формируются смешанные сосново-березовые насаждения состава 7СЗБ+Е и 7С2Б1Е и сосново-еловые 7СЗЕ+Б и 7С2Е1Б.

С первых лет существования смешанных сосново-березовых и сосново-еловых насаждений под их пологом происходят сложные процессы расселения новых поколений древесных пород. Сосновый молодняк оказывается в неблагоприятных условиях и быстро погибает. Исследовав количество и качество соснового подростка, мы пришли к выводу, что никакой надежды на него как на резерв в возобновлении сосны после рубки сосново-березовых и сосново-еловых насаждений быть не может. С.В. Алексеев и А.А. Молчанов [1] также отмечали неустойчивость соснового подростка, гибнущего полностью даже после выборочных рубок, проводимых в борах-зеленомошниках.

Береза, поселяясь под сосново-березовым и сосново-еловым пологом, удерживается, как правило, в больших количествах, особенно в сосново-березовых насаждениях (до 4 ... 5 тыс. шт. на 1 га) до 50–60-летнего возраста. Примечательно, что подрост березы отмирает медленнее, чем сосновый. Это обуславливается особенностями фотосинтеза ее листьев, которые ассимилируют CO_2 с положительным балансом при значительно меньшей освещенности (1-2 % от освещенности открытого места) [3]. Довольно длительное существование березового подростка под пологом леса объясняется также хорошим развитием его корневой системы. Тем не менее подрост березы в большинстве случаев не выходит во второй ярус. Со временем он почти полностью погибает и в насаждениях старше 80 лет или отсутствует, или встречается в очень малых количествах. Хозяйственного значения березовый подрост также не имеет, хотя биологическую значимость березового опада в повышении плодородия лесных почв невозможно переоценить.

Особое положение занимает теневыносливая ель. В условиях кислично-травяного, кисличного и черничного типов сосново-березового леса она распространена всюду. Характер расселения и рост ели в этих условиях одинаков.

Первые всходы ели появляются почти одновременно с сосной и березой. При наличии источников обсеменения массовое расселение ее под сосново-березовым пологом происходит несколько позднее, в течение первых двух-трех десятилетий. Затем этот процесс замедляется, но полностью не прекращается. В исследуемых насаждениях количество елового подростка колеблется от 100 до 30 000 шт. на 1 га. С увеличением возраста насаждений уменьшается как общее количество елового подростка, так и благонадежных экземпляров. Одновременно повышается число сомнительных и неблагонадежных особей, а также елей во втором и первом ярусах. Уменьшение общего количества елового подростка связано с отмиранием сильно угнетенных, ослабленных и больных деревьев. Еловый подрост чаще располагается группами, реже – более или менее равномерно. С повышением возраста в сосново-березовых насаждениях происходит перераспределение елового

подроста по высоте. При этом доля крупного подроста возрастает, а мелкого уменьшается. К возрасту технической спелости (80 лет) преобладает подрост выше 1 м. В дальнейшем доля крупного подроста (выше 2 м) резко увеличивается. Возраст елового подроста самый разнообразный. Со временем общая разница между средними возрастами древостоя и подроста растет. Такое явление объясняется тем, что более старый подрост отмирает или переходит во второй ярус.

Несмотря на большое количество елей, поселяющихся под сосново-березовым пологом, они с трудом выходят в первый ярус, подвергаясь угнетению сосной и охлестыванию березой. В то же время к 80–100-летнему возрасту сосново-березового древостоя ель образует второй ярус с запасом стволовой древесины до 90 м^3 на 1 га. Однако по количеству елей во втором ярусе, их расположению, средним высотам и диаметрам, запасу стволовой древесины наблюдается большое разнообразие при одном и том же возрасте сосново-березовых насаждений и одинаковых условиях местопроизрастания. Нередко второй ярус ели отсутствует или не имеет ясной выраженности, поэтому при таксации не выделяется [7].

Сосново-еловые насаждения возникают и формируются на тех же почвах и в таких же условиях внешней среды, что и сосново-березовые. Решающим фактором при этом является первоначальное количество елочек в составе сосново-елового молодняка при одновременном налете сосновых и еловых семян и незначительном (до 20 %) присутствии березы.

Повсеместное расселение ели под пологом сосново-березовых и сосново-еловых насаждений в кислично-травяном, кисличном и черничном типах леса, при наличии источников обсеменения, объясняется не только ее теневыносливостью, но и еще одной биологической особенностью. Молодые елочки в больших количествах селятся на полуразложившихся и разложившихся остатках древесины, поросших мхами и образующих микроповышения, чего нет у сосны. На эту особенность приспособления ели к органическому субстрату первым обратил внимание М.Е. Ткаченко. «Проходит иногда столетия, – писал он, – прежде чем ель достигнет своими корнями почвы» [13].

Поселение ели под сосново-березовым и сосново-еловым пологом – широко распространенное явление природы северных лесов, заслуживающее всяческого содействия со стороны лесоводов. В смешанных сосняках с хорошо развитым ярусом из ели наиболее полно используется среда обитания, стволы сосны, березы и ели первого (основного) яруса раньше и лучше очищаются от сучьев, растут гонкими, более полнодревесными, а к возрасту главной рубки древесные запасы и продуктивность увеличиваются на 15 ... 20 %.

Продуктивность насаждений при прочих равных условиях зависит от полнодревесности деревьев, слагающих спелые древостои. Видовые

Таблица 1

Насаждения	Порода	Видовое число в возрасте, лет		
		80	100	120
Кисличный тип леса, II класс бонитета				
Чистые	Сосна	0,475	0,470	0,467
	Ель	0,509	0,497	0,490
	Береза	0,435	0,432	–
Сосново-березовые	Сосна	0,486	0,482	0,480
	Ель	0,520	0,515	0,513
	Береза	0,468	0,467	0,466
Сосново-еловые	Сосна	0,500	0,496	0,494
	Ель	0,521	0,517	0,515
	Береза	0,469	0,467	0,466
Черничный тип леса, III класс бонитета				
Чистые	Сосна	0,485	0,478	0,474
	Ель	0,484	0,477	0,474
	Береза	0,445	0,440	–
Сосново-березовые	Сосна	0,494	0,489	0,486
	Ель	0,525	0,522	0,520
	Береза	0,472	0,470	0,469
Сосново-еловые	Сосна	0,508	0,503	0,500
	Ель	0,529	0,523	0,520
	Береза	0,473	0,470	0,469

числа сосны, ели и березы чистых и смешанных насаждений в кисличном и черничном типах леса представлены в табл. 1*.

Из приведенных данных видно, что в смешанных насаждениях у всех пород формируются более полнодревесные стволы, чем в чистых. Этот фактор обуславливает, прежде всего, более высокий запас стволовой древесины в смешанных насаждениях, а теневыносливая ель, «уплотняя» их, обеспечивает лучшее использование среды обитания и значительно повышает продуктивность. Некоторые цифры, отражающие общие запасы стволовой древесины на 1 га в нормальных чистых и смешанных насаждениях подзоны средней тайги в Архангельской области, приведены в табл. 2.

Эти данные показывают, что к возрасту технической спелости на крупную и среднюю деловую древесину в смешанных сосняках запасы

* Здесь и далее использованы таблицы хода роста В.И. Левина (сосняки), В.И. Левина, И.И. Гусева (ельники), А.В. Тюрина (березняки), О.А. Неволина (сосново-березовые насаждения) [10], И.И. Гусева, С.В. Третьякова (сосново-еловые) [2]. Видовые числа в чистых ельниках II класса бонитета взяты из таблицы хода роста сомкнутых еловых насаждений, составленных А.В. Тюриным [17].

Таблица 2

Насаждения	Общий запас нормальных древостоев, м ³ /га, в возрасте, лет			Запас сосны, редуцированный на полноту 0,6, м ³ /га, в возрасте, лет		
	80	100	120	80	100	120
Кисличный тип леса						
Чистые сосняки	390	450	500	230	270	300
Сосново-березовые	480	540	580	280	330	360
Сосново-еловые	490	560	580	280	330	360
Черничный тип леса						
Чистые сосняки	310	360	390	190	210	230
Сосново-березовые	400	440	470	210	240	250
Сосново-еловые	380	430	460	200	230	240

больше, чем в чистых: в кисличных на 80 ... 110 м³ (16 ... 26 %), в черничных на 70 ... 90 м³ (18 ... 29 %).

Запасы сосны, редуцированные на преобладающую полноту 0,6, также выше в смешанных на 50 ... 60 м³/га (20 ... 22 %), в черничниках на 10 ... 30 м³/га (4 ... 14 %).

Таким образом, сосново-березовые и сосново-еловые насаждения, широко распространенные на Европейском Севере России, имеют явные преимущества перед чистыми сосняками и не только как более продуктивные, но, прежде всего, как обладающие высокой устойчивостью против вредителей, болезней и других неблагоприятных факторов внешней среды, повышенными водоохранными и защитными свойствами. Они высоко ценятся в эстетическом отношении, имеют большое санитарно-гигиеническое и рекреационное значение.

Для оценки влияния различных факторов на продуктивность сосново-еловых древостоев использовали алгоритм двухфакторных пропорциональных комплексов. Установлено, что сила влияния состава и возраста почти одинакова и составляет 16 ... 17 %, а на сочетание этих двух факторов приходится 12 %. Суммарное влияние состава и возраста составляет 45 %, на случайные неорганизованные факторы остается 55 % [16].

Известные отечественные лесоводы считали сосново-еловые и сосново-березовые насаждения удачным типом смешанных насаждений, созданных самой природой [1, 4, 15]. Природа мудра, всегда права, и лесоводам нужно делать все возможное, чтобы, следуя ее законам, восстановить утраченную в результате неоправданного истребления лучшую часть сосновых лесов Европейского Севера России [9].

Для решения этой важной государственной задачи необходимо должным образом организовать и вести хозяйство по выращиванию высокопродуктивных таежных сосновых лесов. Прежде всего надо отказаться от традиционных шаблонов в образовании хозяйственных секций, рекомендации способов рубок, оборотов и возрастов главной рубки, проведении работ

по лесовосстановлению и уходу за лесонасаждениями. Наши предложения по организации и ведению хозяйства, восстановлению и выращиванию высокопродуктивных сосняков состоят в следующем.

Образование хозяйственных секций. При проведении лесоустройства в лесхозах таежной зоны необходимо предусматривать создание хозяйственных секций для выращивания высокопродуктивных смешанных сосново-березовых с елью и сосново-еловых с березой насаждений со вторым еловым ярусом. В эти секции следует включать не только смешанные сосняки и не покрытые лесом лесные земли (вырубки, гари, прогалины и др.) кислично-травяного, кисличного и черничного типов леса (I–III классов бонитета), но и лиственно-сосновые, а также редкостойные, малоценные, низкопродуктивные насаждения, произрастающие на почвах указанных типов сосновых лесов.

В лесах III группы целесообразно образовывать крупные хозсекции для выращивания высокопродуктивных чистых и смешанных сосновых насаждений. При этом необходимо позаботиться о формировании двухъярусных насаждений с примесью березы как почвоулучшающей породы.

Способ рубки. Одновозрастность высокопродуктивной части сосновых лесов на Европейском Севере России и первоочередная забота о последующем возобновлении сосны на вырубках позволяют уверенно рекомендовать сплошнолесосечный способ рубки с оставлением сосновых обсеменителей. Второй ярус из ели также подлежит одновременной рубке.

Естественно при этом возникает вопрос об отношении в процессе рубки к еловому подросту, появляющемуся под пологом высокопродуктивных сосняков в больших количествах. Наши многолетние наблюдения показали, что ельники, сформировавшиеся из оставленного после рубки подроста и тонкомера на местах вырубки сосняков высших классов бонитета, редкостойны, растут плохо, их продуктивность низка. В этих условиях не следует оставлять еловый подрост и тонкомер, так как это вызовет искусственную смену высокопродуктивных сосновых насаждений на низкопродуктивные ельники.

В сосново-еловых насаждениях возможны двухприемные длительно-постепенные рубки слабой интенсивности. В первый прием разреживается сосновый полог в целях дорастивания еловой части насаждений для получения средней и крупной древесины (пиловочника). Во второй прием выполняется сплошная рубка с оставлением достаточного количества семенников сосны и минерализацией почвы.

Выборочные рубки в этих насаждениях проводить нельзя, так как за этим неминуемо последует нежелательная смена сосны елью. Лесоведам необходимо помнить, что объектом выборочных рубок является разновозрастный лес.

Оборот и возраст рубки. Оборот рубки в лесах первой группы следует устанавливать, ориентируясь на естественную спелость, которая в смешанных и чистых высокопродуктивных сосняках наступает после 150 лет.

В высокопродуктивных хозсекциях эксплуатационных лесов основанием для установления оборота рубки является техническая спелость на древесину крупных и средних размеров, которая, по нашим исследованиям, составляет 80 ... 90 лет [5]. Период возобновления исследуемых насаждений кистлично-травяных, кистличных и черничных типов леса равен 2-3, реже 1 или 5 ... 8 годам. При активном и правильном содействии лесовозобновительным процессам необходимо обеспечить восстановление на вырубках высокопродуктивных сосняков в течение первых трех лет после рубки. В этом случае оборот рубки не будет превышать 90 ... 100 лет.

Возраст рубки в высокопродуктивных хозсекциях эксплуатационных хозяйственных частей следует установить в пределах V класса (81 ... 100 лет). При таком решении можно получить наибольшее количество пиловочной древесины, балансов и фанерного кряжа за промежуток времени, на 20 лет короче принятого в настоящее время возраста рубки в хвойных хозсекциях (101 ... 120 лет).

В лесах первой группы (запретные полосы по берегам рек, защитные вдоль дорог и др.) возраст рубки тесно связан с естественной спелостью, т. е. с возрастом биологической старости, когда насаждения утрачивают свои защитные свойства.

Способы лесовозобновления. Современные сосновые леса возникли после воздействия на почву огня. Это закон природы, познанный человеком. Наши многолетние (1949–2003 гг.) наблюдения и исследования, проведенные в разных районах Европейского Севера России, позволяют утверждать, что смешанные и чистые высокопродуктивные сосняки, как правило, возникли под влиянием лесных пожаров. На огромных пространствах таежных лесов почти повсюду обнаружены следы лесных пожаров в виде пожарных подсушин на материнских деревьях и сухостое, обгорелых стволов и пней деревьев старшего поколения, а также древесных углей на поверхности почвы под лесной подстилкой. Сосняки, сформировавшиеся на вырубках без предшествующих пожаров или воздействия огня на почву, встречаются очень редко и занимают небольшие площади.

Вспомним авторитетные высказывания корифеев лесной науки. Так, М.Е. Ткаченко [14] писал, что «пожары являются частью программы природы, выполнение которой обеспечивает сохранение сосны как растительного вида на земле». В.Н. Сукачев [12] утверждал, что «сосна сохранила свои позиции на севере только благодаря пожарам. В противном случае ель вытеснила бы сосну уже несколько тысячелетий назад».

К сожалению, закономерная связь воздействия огня на почву с возобновлением сосновых лесов пока не нашла должного и умелого применения в практике лесного хозяйства в северном регионе. На это нельзя не обратить внимания, так как ценнейшие таежные сосновые леса уже почти полностью вырублены, а их возобновление не обеспечивается.

Правила рубок главного пользования в равнинных лесах европейской части России [11], наряду с различными способами очистки мест рубок, предусматривают сбор порубочных остатков в кучи и валы с после-

дующим сжиганием их в неопасный в пожарном отношении период и запрещают сжигание порубочных остатков сплошным палом.

В Архангельской области огневая очистка мест рубок развита повсеместно, но ее лесоводственное значение из-за неправильного применения ничтожно. Дело в том, что лесозаготовители сводят огневую очистку вырубок лишь к уничтожению древесных остатков, не заботясь о выполнении лесоводственных требований и не понимая ее главной цели. Такое отношение к этому важному лесокультурному мероприятию наносит огромный вред лесному хозяйству.

Плохая очистка мест рубок, отсутствие сосновых семенников, несоблюдение самых элементарных лесоводственных требований, неполное использование лесосечного фонда – все это давно стало бичом для лесного хозяйства на Европейском Севере.

Для успешного естественного возобновления сосны и создания высокопродуктивных сосняков кислично-травяных, кисличных и черничных на месте вырубок необходимо в первую очередь упорядочить огневую очистку лесосек, а также обязательно оставлять сосновые обсеменители.

Огневая очистка – это не только противопожарная и санитарная мера, но и важнейшее лесокультурное мероприятие. «... Огневую очистку в кучах, – писал М.Е. Ткаченко, – следует использовать как меру, при помощи которой в составе будущих молодняков можно увеличить примесь сосны, лиственницы, кедра, в особенности в тех случаях, когда к этим породам в материнских древостоях были примешаны теневыносливые ель или пихта, легко дающие подрост и затеняющие вышеперечисленные более светолюбивые породы» [15].

Огневая очистка лесосек должна стать основным средством, обеспечивающим естественное возобновление сосны при благоприятных почвенных условиях.

Лесозаготовители обязаны обеспечивать высокое качество огневой очистки мест рубок, а работники лесного хозяйства оценивать ее не по формальному выполнению, но прежде всего по результатам минерализации почвы и лесоводственному эффекту. Такое требование должно стать главным, а его выполнение обязательным.

Порубочные остатки следует сжигать в кучах, равномерно расположенных по площади вырубок и удаленных от групп подроста и семенников на расстояние, исключающее повреждение их огнем. Для сжигания нужно выбирать бесснежный, непожароопасный период, а также мелкий снеговой покров. При глубоком снеговом покрове невозможно достигнуть необходимой минерализации почвы.

Размер куч и период воздействия огня должен обеспечивать полное выгорание мохового покрова и лесной подстилки до минерального слоя. Здесь надо избегать шаблонных установок, а дать простор творческой деятельности лесничего. Заботясь о полном прогорании мохового покрова и лесной подстилки, нельзя допускать очень сильного воздействия высокой температуры на минеральный слой, так как это может отрицательно ска-

заться на возобновлении сосны. Сжигать порубочные остатки в валах не следует, такой способ не дает хороших результатов по минерализации почвы.

Мы считаем ошибочным полное исключение и запрещение сплошных палов как одного из способов очистки лесосек и мероприятий по содействию естественному возобновлению сосняков. В высокопродуктивных сосняках, где нецелесообразно оставлять и сохранять еловый подрост, следует проводить специально подготовленные сплошные палы, соблюдая предосторожности.

Запрещение сплошных управляемых палов является одним из препятствий для успешного возобновления сосняков на вырубках. Об их необходимости свидетельствует вся история возникновения и формирования высокопродуктивных сосняков Европейского Севера России и лесохозяйственный опыт лесоводов Финляндии, Швеции, Канады и США.

В Архангельской области интенсивное выпадение семян сосны происходит во второй половине мая. Чтобы создать благоприятные условия для их прорастания на огнищах, в первой декаде мая перед массовым налетом сосновых семян рекомендуется проводить легкое поверхностное рыхление. Осенью рыхлить почву не нужно, так как в дождливый период и при снеготаянии взрыхленный слой уплотнится, и все труды окажутся напрасными.

Содействие естественному возобновлению сосны путем минерализации почвы покровосдирателями, как показал многолетний опыт, не приносит желаемых результатов. Малый процент поранения напочвенного покрова и быстрое зарастание минерализованных мест травянистой растительностью препятствуют массовому появлению и развитию всходов сосны.

В качестве семенников необходимо оставлять лучшие деревья, равномерно расположенные по площади вырубки. Рекомендуем на 1 га оставлять: сосны – 15 ... 20, ели – 3 ... 5, березы – 2-3 дерева.

Создавая (в исключительных случаях!) сосновые культуры, надо учитывать естественный налет ели и березы. Последующие уходы будут способствовать формированию желаемого состава смешанных насаждений.

Выращивание высокопродуктивных насаждений, прежде всего сосновых, должно стать главной заботой северных лесоводов.

Уходы за лесонасаждениями. В условиях экстенсивного лесного хозяйства на Европейском Севере России уход за лесом вообще и классические рубки ухода в частности проводятся в незначительных размерах. Большие расстояния, отсутствие хороших дорог и ограниченный сбыт древесины от рубок ухода тормозят развитие этих важнейших лесохозяйственных мероприятий, лесоводственная эффективность которых несомненна [8, 18].

При проведении уходов за сосново-березовыми насаждениями необходимо всесторонне учитывать взаимодействие сосны и березы. Наиболее целесообразен, по нашему мнению, трехприемный уход с выборкой из всех частей насаждения больных, поврежденных насекомыми, сухостойных и других деревьев, мешающих росту лучших.

Первые два приема ухода рекомендуем проводить до начала периода интенсивного охлестывания [6]: первый – в возрасте насаждения около 10 лет, чтобы освободить сосну от угнетающего действия березы; второй – в 20–25-летнем возрасте, чтобы предупредить и по возможности полностью устранить сильное и очень сильное охлестывание сосны березой, а также конкуренцию между особями одного вида.

Одновременно нужно организовать уход за елью, чтобы создать наилучшие условия для формирования и роста второго яруса. В первые два приема необходимо формировать сосново-березовые насаждения, состоящие преимущественно из чистых биогрупп сосны и березы. Просветы между биогруппами сосны и березы должны быть заполнены группами из ели.

Третий уход следует проводить в 40-летних насаждениях. Его цель – устранить охлестывание сосны березой и создать возможно лучшие условия для роста второго елового яруса. При этом надо позаботиться и о создании благоприятных условий для выхода некоторой части елей в первый сосново-березовый ярус. Дальнейшие уходы до момента главной рубки в условиях экстенсивного хозяйства вряд ли целесообразны.

Если нет возможности своевременно осуществить рекомендуемый цикл рубок ухода, следует провести хотя бы один уход в насаждении возраста 30–45 лет. Он позволит устранить отрицательные воздействия березы на сосну и создать оптимальные условия роста сосново-березового древостоя и второго елового яруса. При уходах необходимо формировать сосново-березовый полог состава 7-8С 3-2Б + Е, во втором ярусе 10Е.

Исследования сосново-еловых насаждений показывают, что лучшим ростом и высокой продуктивностью отличаются древостои, в которых, наряду с хвойными, присутствует береза (10 ... 15 % состава).

Первый уход в сосново-еловых древостоях следует проводить в 20-летних древостоях, второй – в 40-летних со снижением доли березы в составе до 10 ... 15 %.

Если рубки ухода не проводились до 50 ... 60 лет, то возможен одноразовый уход с выборкой всех больных, поврежденных насекомыми деревьев, а также мешающих росту лучших. Желаемый состав основного первого яруса насаждений после ухода 6СЗЕ1Б, второго 10Е.

Осину как промежуточного хозяина соснового вертуна (*Melampsora pinitorqua*) из смешанных сосняков необходимо убирать полностью.

Применение в практике лесного хозяйства наших рекомендаций поможет быстрее решить важнейшую народнохозяйственную проблему – повысить продуктивность лесных площадей и восстановить ценные сосновые леса Европейского Севера России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Молчанов А.А. Выборочные рубки в лесах Севера. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 148 с.
2. Гусев И.И., Третьяков С.В. Рост и продуктивность сосново-еловых древостоев средней подзоны тайги Европейского Севера // Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, РИО СТИ, 1989. – С. 48–59.

3. *Иванов Л.А.* Свет и влага в жизни наших древесных пород – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. – 66 с.
4. *Мелехов И.С.* Лесоведение: Учеб. для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.
5. *Неволин О.А.* Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1969. – 103 с.
6. *Неволин О.А.* Об охлестывании сосны березой в высокопродуктивных сосняках Европейского Севера России // Лесн. журн. – 1995. – № 1. – С. 27–31. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Неволин О.А., Еремина О.О.* Подрост и его значение в формировании высокопродуктивных сосновых лесов Европейского Севера России // Лесн. журн. – 1998. – № 4. – С. 12–18. – (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.* Динамика сосново-березового насаждения в типе леса сосняк-кисличник и лесоводственная эффективность рубок ухода // Лесн. журн. – 2002. – № 2. – С. 17–23. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Неволин О.А.* и др. Лесоустройство / О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Ердяков, С.В. Торхов. – Архангельск: Правда Севера, 2003. – 583 с.
10. Полевой справочник таксатора (Для таежных лесов Европейского Севера) / И.И. Гусев, В.И. Калинин, О.А. Неволин и др. – Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. – 196 с.
11. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах Европейской части Российской Федерации. – М., 1994. – 32 с.
12. *Сукачев В.Н.* История растительности СССР во время плейстоцена // Растительность СССР. Т. 3. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. – С. 183–234.
13. *Ткаченко М.Е.* Леса Севера. Из лесохозяйственных исследований в Архангельской губернии. – СПб., 1911. – 91 с.
14. *Ткаченко М.Е.* Задачи лесной политики на Севере // Сельское и лесное хозяйство Севера: Матер. совещ. по изучению Севера при РАН / Под ред. В.И. Ковалевского, Е.Ф. Лискуна, М.Е. Ткаченко. – Пг.: Новая деревня, 1923. – С. 112–135.
15. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство. – Л.: Гослестехиздат, 1939. – 746 с.
16. *Третьяков С.В.* Влияние состава и возраста на продуктивность сосново-еловых древостоев средней подзоны тайги Европейского Севера // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: Матер. Всерос. конф. Ч. 1. – Воронеж, 1993. – С. 104–105.
17. *Тюрин А.В., Науменко И.М., Воропанов П.В.* Лесная вспомогательная книжка (по таксации леса). – 2-е изд.; доп./ Под общ. ред. А.В. Тюрин. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. – 532 с.
18. *Чибисов Г.А.* Биологическая продуктивность сосняков, формируемых рубками ухода // Лесн. журн. – 1997. – № 5. – С. 7–16. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 02.03.04

O.A. Nevolin, S.V. Tretyakov, O.O. Eremina
**Productivity of Mixed Pine Forests in European North of Russia and
Forest Management**

Practical recommendations on reforestation of high-productive liquidated pine forests are given based on materials of 40-years research.



УДК 630*37

О.М.Соколов, А.А.Митрофанов, В.Л.Рымашевский

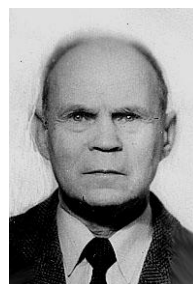
Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой биотехнологии Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 170 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.



Митрофанов Александр Александрович родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 160 печатных работ в области гидродинамики взаимодействия плохообтекаемых тел с жидкостью, механики грунтов, научного обоснования и разработки новых экологически защищенных технологий водного транспорта леса по рекам с недостаточными глубинами.



Рымашевский Вячеслав Ларгиевич родился в 1942 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Имеет около 30 научных трудов в области технологии лесопиления, лесоснабжения, транспорта леса, внешнеэкономической деятельности.



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТНОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА*

Исследованы динамика объемов заготовки и сплава леса, изменение транспортных затрат. На примере Архангельской области выявлены отрицательные последствия прекращения лесосплава по малым рекам. Сформулированы направления развития новых технологий лесосплава.

Ключевые слова: водный транспорт леса, транспортные затраты, сырье, эффективность лесопиления, технология сплава.

* Работа выполнена по грантам Министерства образования и науки РФ ТО2-11.2-1183; ТО2-11.3-2991.

Одной из важнейших фаз лесопромышленного производства страны являются лесосплавные работы. Исторически это обусловлено наличием развитой речной сети в лесных регионах и относительно низкой стоимостью вывозки лесных грузов на значительные расстояния. Перерабатывающие предприятия лесного комплекса в основном размещаются в устьях рек, древесина к ним доставлялась водным путем.

Наибольшее развитие водный транспорт леса в СССР получил в 1960–1970-е гг. К этому времени были разработаны и внедрены совершенные конструкции запаней, плотин, плотов, опор, лесосплавной техники и флота. В лесосплавных предприятиях трудились высококвалифицированные кадры. На пике развития советской лесной промышленности повсеместно действовала практически унифицированная схема транспортировки древесного сырья потребителям. Из мест заготовки древесины доставляли самосплавом россыпью (молем) в генеральные запани, располагавшиеся на выходах в большие реки. Там ее формировали в пучковые плоты, которые буксировали к устьям больших рек на лесоперерабатывающие предприятия.

Эти работы выполняли в течение всего навигационного периода, что способствовало эффективному использованию техники и трудовых ресурсов. Потребность в рискованной зимней сплотке леса была минимальна. Основные объемы заготовленной древесины вывозили к пунктам сплава (см. таблицу). Железнодорожные перевозки уступали по объемам водным, автомобильный транспорт также не мог конкурировать ввиду дороговизны и неразвитости дорожной сети при значительных расстояниях транспортировки.

В последующий период дезинтеграции плановой централизованной экономики СССР объем заготовки леса резко снизился. Сократилась и доля водного транспорта. Это произошло вследствие принятия ЦК КПСС и СМ СССР в 1966–1971 гг. ряда директивных документов по лесной промышленности (не отмененных до настоящего времени). В интересах рыбного хозяйства и по экологическим соображениям молевой сплав на сотнях рек был ограничен или запрещен. Эти решения были приняты без надлежащей экологической и экономической проработки. Альтернативные виды транспорта леса не получили адекватного развития.

Объемы вывозки древесины к пунктам сплава

Год	Вывозка древесины		
	всего, млн м ³	к пунктам сплава	
		млн м ³	%
1950	133	67	50
1960	226	118	52
1970	299	125	42
1980	328	83	25
1990	304	54	18

Прекращение молевого сплава не привело к ощутимому повышению эффективности рыбного хозяйства, в то время как отрицательные экологические и экономические последствия этого шага очевидны. При увеличении доли автомобильных перевозок леса усилилось негативное влияние на среду обитания, связанное с ростом выбросов в почву, воду и атмосферу. Резко возросла потребность в энергоресурсах для доставки леса потребителям. Если удельные затраты энергии при выполнении сопоставимой грузовой работы сплавом принять за единицу, то для автомобильного и железнодорожного видов транспорта леса этот показатель будет составлять соответственно 17 и 4. Доля транспортных затрат в цене круглых лесоматериалов, доставленных на перерабатывающие предприятия, повысилась от 9 ... 11 % в 1965 г. до 30 ... 32 % в настоящее время, в то время как приемлемая доля в существующем ценовом поле равна 13 %.

Средняя стоимость транспортировки 1 м³ круглых лесоматериалов на 1 км в 2002 г. составила: автомобильный – 1,10 ... 1,40; железнодорожный – 0,70 ... 0,90; речной (суда) – 0,30 ... 0,40; сплав в плотах – 0,25 ... 0,30 р. Для экспортных пиломатериалов, доставляемых морским транспортом, это показатель составил 0,25 ... 0,30 р.

Лесозаготовительные предприятия, примыкающие к малым и средним рекам, оказались отрезанными от транспортных артерий. Существенные объемы древесного сырья, исчисляемые десятками миллионов кубометров, были исключены из ресурсов вывозки. Лесозаготовки стали перемещаться в более молодые и низкобонитетные насаждения, в недорубы прошлых лет, а недоступные спелые и перестойные массивы леса – деградировать.

Некоторые отрицательные результаты прекращения молевого сплава леса можно проиллюстрировать на примере крупнейшего лесопромышленного региона страны – Архангельской области, где объемы лесозаготовок достигали 27,2, а сплав древесины более 9 млн м³ в год (в 1965 г. проплавлено 16,4 млн м³).

По своему географическому положению лесопромышленный комплекс области исторически ориентирован на экспорт, в основном пиломатериалов. Одним из главных факторов эффективности экспорта является выход соответствующих сортиментов из пиловочника, который напрямую зависит от размерно-качественных характеристик распиливаемого сырья.

Для выявления тенденций изменения размерно-качественных показателей пиловочного сырья и пиломатериалов нами проанализированы отчетные данные лесопильно-деревообрабатывающих предприятий Архангельского промышленного узла, специализирующихся на экспортной продукции (суммарный годовой объем производства экспортных пиломатериалов – до 1,8 млн м³), за период 1965–2001 гг. Результаты исследования позволяют отметить снижение качественных и количественных показателей перерабатываемого древесного сырья.

Средний диаметр пиловочных бревен снизился от 21,4 до 18,7 см, что обусловлено, на наш взгляд, рядом причин:

истощение лесного фонда в освоенных регионах заготовки при недостаточных объемах строительства лесовозных дорог в новых лесных массивах;

снижение объемов плотового сплава сырья из бассейна р. Вычегды; прекращение молевого сплава и последовавшее сокращение ресурсов лесозаготовок.

Средняя длина бревен незначительно уменьшилась от 5,15 до 5,10 м при некотором изменении соотношения стандартных длин.

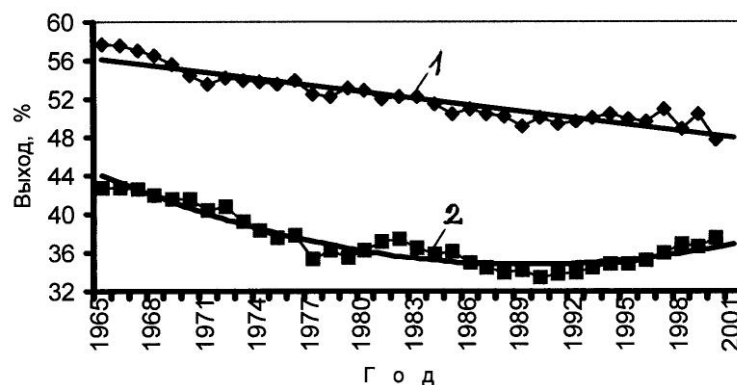
В связи со снижением на 25 % среднего объема одного пиловочно-го бревна пропорционально уменьшилась производительность лесопильного оборудования и соответственно выросли удельные трудовые, энергетические и материальные затраты ресурсов на выпуск пиломатериалов.

В объеме заготавливаемой древесины содержание пиловочника 1–2-го сорта (90 % согласно ГОСТ 9463–88) за 1965–1990 гг. плавно снизилось от 75 до 55 %, что обусловлено превалированием объемных плановых показателей поставок сырья над качественными в условиях недостатка ресурсов. Воздействие рыночных факторов в последующем десятилетии привело к повышению содержания высших сортов до 85 %.

Графики выхода пиломатериалов представлены на рисунке.

Общий выход пиломатериалов (кривая 1) снизился от 57,6 до 48,0 %, экспортных (кривая 2) – от 42,5 до 33,5 % (уровень 1990 г.), затем действие экономических факторов обусловило рост этого показателя к 2001 г. до 38,0 %.

Значительно ухудшилась качественная структура экспортных пиломатериалов. Содержание наиболее ценных 1–3-го сортов снизилось от 55 до 25 %, доля досок 5-го сорта возросла от 15 до 40 %. Это повлекло за собой существенное снижение цены экспортных пиломатериалов. Доход от реализации еловых пиломатериалов по ГОСТ 26002–83 снизился за 1965–1995 гг. от 39 до 26 %, затем к 2001 г. возрос до 31 %, составив 79 % от уровня 1965 г. Недополученная государством за 35 лет сумма в масштабах Архангельской области оценивается в 750 ... 800 млн долларов США.



Изменение показателей выхода пиломатериалов

Анализируя пути выхода из кризисного состояния лесопромышленного комплекса, следует признать, что ориентация на магистральный автомобильный транспорт при значительных расстояниях и неразвитости дорожной сети экономически бесперспективна. Возврат к молевому сплаву леса также невозможен, что, наряду с экологическими соображениями, обусловлено разрушением инфраструктуры сплава. На бывших сплавных реках уничтожены все лесозадерживающие, рейдовые и ограждающие сооружения, прекращены мелиоративные работы, ликвидированы поселки сплавщиков.

Альтернативой молевому сплаву выступили судовые перевозки леса (в незначительных объемах) и береговая сплотка древесины в зимний период с последующей буксировкой плотов потребителям в период высоких весенних горизонтов воды. В настоящее время объемы зимней сплотки на больших реках практически достигли предела. Лимитирующими факторами выступают: ресурсы древесины и площади участков берегов рек, пригодных под зимние плотбища. Существует резерв зимней сплотки на боковых реках, однако буксировка по ним пучковых плотов из-за большой осадки и малой прочности затруднительна. Хорошо зарекомендовавшие себя в этих условиях прочные плоты из плоских сплочных единиц конструкции АГТУ [1–3] не находят достаточно широкого распространения, так как их изготовление отличается повышенной, по сравнению с пучковыми, трудоемкостью и требует специального оборудования. И даже с учетом резерва боковых рек перспективы развития береговой сплотки ограничены, так как увеличивается потребность в речном флоте при резко выраженной сезонности его использования.

Общим выводом из сказанного является необходимость повсеместного возобновления навигационной сплотки древесины. За базовую единицу новых технологий водного транспорта леса в условиях недостаточных глубин рек должна быть принята, на наш взгляд, плоская сплочная единица конструкции АГТУ. Ее достоинства, по сравнению с пучком лесоматериалов, заключаются в высокой прочности и большем объеме при малой, хорошо фиксируемой осадке. Такие сплочные единицы можно выводить вольницей самосплавом или в линейках за тягой маломерных судов по самым малым рекам, где ранее применяли молевой сплав. По мере возрастания глубин реки сплочные единицы могут быть укрупнены установкой друг на друга. При выходе на большую судоходную реку сплочные единицы накапливают, формируют в большегрузные плоты и буксируют потребителям.

При этой технологии не требуются дорогостоящие дноуглубительные работы на реках в прежних объемах и обеспечивается равномерная работа флота в течение всей навигации [7]. Кроме того, возможен пуск сплочных единиц в сплав одновременно разными владельцами лесоматериалов при маркировке сортиментов. (Кстати, невозможность идентификации принадлежности леса при молевом сплаве послужила одной из причин отказа от него).

Современное состояние лесной промышленности позволяет оптимистично оценить перспективы развития водного транспорта леса. Для внедрения новых технологий сплава, основанных на использовании плоских сплотовых единиц, в АГТУ разработаны и опробованы в производственных условиях высокоэффективные мобильные конструкции русловых и береговых опор, запаней, плотостоянок и причалов. В 1998–2003 гг. проведены успешные буксировки плотов на р. Северной Двине, Пинеге, Онеге, Ваге. На данном этапе необходимо создать экономичную технику для изготовления, укрупнения и выгрузки плоских сплотовых единиц. Работы в этом направлении ведут совместно АГТУ, ЦНИИлесосплава и Костромским СМЗ по заданию и при финансировании Минпромнауки (ныне Минобразования и науки) РФ. Разрабатывается техническое обеспечение новых технологий – сплотовая, размолевочная и раскаточная машины [4–6]. Опытный образец сплотовой машины планируется испытать уже в навигацию 2004 г. В АГТУ параллельно проводят исследования гидродинамических и инерционных характеристик плоских сплотовых единиц.

Расширение объемов навигационной сплотки создаст условия для стабильной загрузки лесосплавных предприятий и речного флота в течение всей навигации. Внедрение новых технологий сплава позволит восстановить объемы заготовки древесины в отдаленных лесоизбыточных районах. Таким образом решается тройственная задача: увеличение ресурсов сырья, улучшение социальной обстановки в лесных регионах и повышение эффективности всего лесопромышленного комплекса страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев В.В., Митрофанов А.А., Соколов М.О. Проблемы водного транспорта леса и технического содержания рек // Лесн. журн. – 2002. – № 1. – С. 74–79. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 268 с.
3. Митрофанов А.А., Соколов М.О. Новые технологии водного транспорта леса – на смену молевому сплаву // Лесн. вест.: Спец. вып. науч.-образоват. ассоциации лесн. комплекса. – 2000. – С. 47–51.
4. Пат. 2163879 РФ, МКИ⁷ В65 G69/20, 59/102. Раскаточное устройство / А.А. Митрофанов // Изобрет. – 2001. – № 7. – С. 190.
5. Пат. 2165374 РФ, МКИ⁷ В63 В35/62 В65 G69/20. Сплотовая машина / А.А. Митрофанов // Изобрет. – 2001. – № 11. – С. 277.
6. Пат. 2186720 РФ, МКИ⁷ В65G69/20, Размолевочное устройство / А.А. Митрофанов // Изобрет. – 2002. – № 22. – С. 408.
7. Савельев В.В. Мелиорация лесосплавных путей и гидротехнические сооружения. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 280 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 06.05.04

O.M.Sokolov, A.A. Mitrofanov, V.L. Rymashevsky

Problems and Prospects of Transport Development in Forest Industry

Dynamics of logging volumes and wood floating, change of transport costs have been studied. Negative consequences of terminating wood floating on small rivers have been revealed based on the example of the Arkhangelsk region. Directions of new floating technologies development are formulated.

УДК 630*378.33.5

В.Я. Харитонов

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 180 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТОРМОЗА ДЛЯ ОСТАНОВКИ ПЛОТОВ

Приведена схема устройства для остановки плотов на течении. Определены основные параметры этого устройства с использованием положений теории гибкой нити и теоретической гидромеханики. Даны рекомендации по совершенствованию конструкции устройства и эффективности его работы.

Ключевые слова: плот, гидротормоз, гибкая нить, лобовое сопротивление, тормозной путь, продолжительность остановки.

Проблема остановки плотов на течении приобретает все большее значение в связи с увеличением объемов зимней сплотки и поставки лесоматериалов потребителям в плотях по рекам в ранневесенний период.

В большинстве случаев плоты останавливают трением, прижимая их к берегу теплоходами. Этот метод не только экологически опасен, поскольку разрушаются дно и берег, такелажные крепления плота, размолевываются пучки, но и требует больших затрат на теплоходы, последующую ликвидацию обсушки плота.

В работе [5] описан один из перспективных, на наш взгляд, методов остановки плота гидротормозом, но не обоснованы параметры последнего.

В нашей статье приводятся схема и принцип работы гидротормоза, методика расчета основных параметров.

Гидротормоз (рис. 1) состоит из двух наплавных опор 1 и 2 и поплавков 3 с несущим канатом 4. Один конец каната закреплен на опоре 2, второй огибает блок 5 на опоре 1.

Останавливаемый плот крепится к свободному концу каната и увлекает его вниз по течению, перекрывая поплавками пространство между опорами. Поскольку поплавки вступают во взаимодействие с потоком поочередно, инерция плота и после-

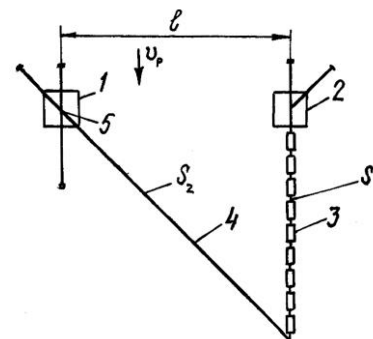


Рис. 1. Схема гидротормоза

дующее воздействие потока гасится плавно до полной остановки плота.

Остановленный плот крепят выносами за береговые или русловые опоры, освобождая несущий канат. Гидротормоз под действием течения возвращается в исходное положение (рис. 1) для остановки очередного плота.

Конструкция гидротормоза предусматривает возможность скольжения каната 4 по поплавкам 3 с уменьшением расстояния между ними и стрелы провеса f_{max} (рис. 2) до выравнивания сил воздействия потока на остановленный плот и гидротормоз без динамического удара.

Процесс остановки плота с использованием гидротормоза можно разделить на два этапа.

Первый этап – свободное торможение – начинается с момента, когда плот выведен на продольный галс вдоль наплавной опоры 1 и буксировщик прекратил воздействие на плот; заканчивается моментом включения в работу гидротормоза. Продолжительность этапа определяется за-

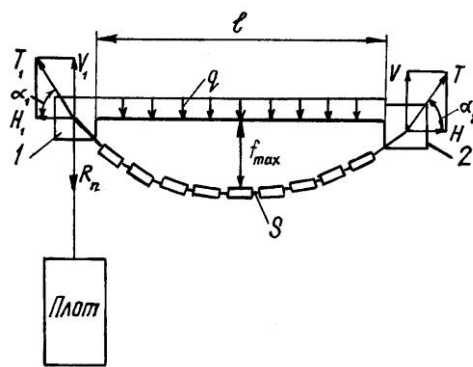


Рис. 2. Расчетная схема

тратами времени на подход хвоста плота к опоре 1,

подачу и крепление свободного конца несущего каната гидротормоза к бортовым лежням, выборку провеса несущего каната. Ориентировочно можно принимать в расчетах продолжительности этапа $t_1 = 3 \dots 5$ мин.

Скорость плота на этом этапе уменьшается от технической скорости буксировки v_t до скорости начала активного торможения v_n , длина пути торможения S_1 . Теоретический анализ этапа подробно дан в работах [3, 4] и здесь не рассматривается.

Второй этап – активное торможение плота переменной силой, создаваемой поплавками гидротормоза, поочередно вовлекаемыми в движение несущим канатом от опоры 2 к опоре 1 и навстречу скорости потока. Скорость обтекания поплавков в начальный момент близка к $v_n + v_p$, а в конце этапа равна скорости течения реки v_p . Скорость плота изменяется от v_n до нуля, путь торможения (рис. 1, 2)

$$S_2 = \sqrt{\ell^2 + S^2}, \quad (1)$$

где ℓ – расстояние между опорами (пролет);

S – длина рабочей части гидротормоза с поплавками, которую считают гибкой нитью.

Для так называемых пологих нитей, у которых отношение $f_{max} / \ell \leq \leq 1/10$, с некоторым приближением [1]

$$S \approx \ell \left(1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{\ell} \right)^2 \right). \quad (2)$$

Продолжительность второго этапа движения находим по формуле

$$t_2 \approx \frac{2S_2}{v_i}. \quad (3)$$

Погрешность осреднения скорости движения плота на этом этапе не имеет практического значения.

Дифференциальное уравнение движения системы плот – гидротормоз имеет вид

$$M_{\text{д}} \frac{dv}{dt} = -F_T \pm R_x \pm R_B + R_i, \quad (4)$$

где $M_{\text{д}}$ – действующая масса;

F_T – переменная тормозная сила, создаваемая поплавками;

R_x – переменная сила сопротивления плота потоку;

R_B, R_i – силы сопротивления соответственно от ветра и уклона поверхности воды.

Если по расчетам для первого этапа получим $v_n < v_p$, то в уравнении (4) перед R_x записывают знак плюс, тогда

$$R_x = r(v_p - v)^2, \quad (5)$$

где r – приведенная сила сопротивления плота, потоку (сила сопротивления при скорости обтекания, равной единице) [3].

Действующую массу $M_{\text{д}}$ определяют для случая разгона плота в спокойной воде [4] (массой элементов гидротормоза можно пренебречь).

Если $v_n > v_p$, то второй этап следует разделить на две стадии. В первой скорость плота уменьшается от v_n до v_p , в уравнении (4) перед R_x знак минус тогда

$$R_x = r(v - v_p)^2, \quad (6)$$

а $M_{\text{д}}$ определяют для случая остановки плота [4].

На второй стадии скорость плота уменьшается от v_p до нуля, перед R_x записывают знак плюс. Здесь $M_{\text{д}}$ определяют для разгона, и R_x находят по формуле (5).

Общие решения дифференциального уравнения (4) приведены во многих источниках [4] и здесь не рассматриваются. Однако использовать их для конкретного случая не представляется возможным из-за сложности процесса взаимодействия поплавков гидротормоза с потоком, а следовательно, и определения переменной тормозной силы F_T . В каждое мгновение изменяются не только условия обтекания, но и количество поплавков, вовлекаемых в движение. Анализ изменения силы F_T строго осуществим только экспериментально.

Для практических расчетов и реализации рассматриваемого способа остановки плотов ниже предлагается методика определения основных параметров гидротормоза с использованием теории гибких нитей в момент полной остановки плота, когда нагрузки в такелажных креплениях плота и гид-

ротормоза наибольшие. Для этого момента справедливо условие статического равновесия, так как инерционные силы погашены.

Если рассматривать гидротормоз как параболическую гибкую нить [1], то уравнение равновесия в конечном положении будет иметь вид (потери на трение в блоке пренебрегаем)

$$R_n = T, \quad (7)$$

где

$$R_n = R_p + R_i + R_b, \quad (8)$$

R_p – сила лобового сопротивления остановленного потока набегающему речному потоку со скоростью v_p ;

T – сила натяжения каната у наплавных опор (допускаем, что v_p по ширине реки одинакова).

По теории гибкой нити

$$T = \sqrt{H^2 + V^2}, \quad (9)$$

где V – вертикальная составляющая,

$$V = \frac{q\ell}{2}; \quad (10)$$

H – горизонтальная составляющая,

$$H = \frac{q\ell^2}{8f_{\max}}, \quad (11)$$

q – равномерно распределенная нагрузка на гидротормоз по пролету ℓ от потока,

$$q = C_T \rho h_T \frac{v_p^2}{2}; \quad (12)$$

C_T – коэффициент лобового сопротивления гидротормоза, зависящий от конструкции и формы поплавков;

ρ – плотность воды;

h_T – осадка поплавков.

С учетом зависимостей (9) и (11) уравнение (7) примет вид

$$R_n = \sqrt{\frac{q^2 \ell^4}{64f_{\max}^2} + \frac{q^2 \ell^4}{4}}$$

или

$$\frac{q^2 \ell^4}{64f_{\max}^2} + \frac{q^2 \ell^4}{4} = R_n^2.$$

Рассмотрим биквадратное уравнение

$$a \ell^4 + b \ell^2 + c = 0, \quad (13)$$

где

$$a = \frac{q^2}{64f_{\max}^2};$$

$$b = \frac{q^2}{4};$$

$$c = -R_n^2.$$

Из уравнения (13) можно определить пролет ℓ .

Обозначим $\ell / f_{\max} = k$. Используя это отношение, приведем биквадратное уравнение к квадратному:

$$\frac{k^2 q^2}{64} \ell^2 + \frac{q^2}{4} \ell^2 - R_n^2 = 0 \quad (14)$$

или окончательно

$$\ell = \frac{2R_n}{q \sqrt{1 + \frac{k^2}{16}}}. \quad (15)$$

При выборе численного значения k следует получить оптимальное решение, так как с его увеличением горизонтальная составляющая растет (при $k \rightarrow \infty$ и $H \rightarrow \infty$), а следовательно, усложняется крепление наплавных опор.

Якорное крепление наплавной опоры 2 рассчитывают на усилии T (9), направленное под углом

$$\alpha_2 = \arctg \frac{V}{H}. \quad (16)$$

Якорное крепление наплавной опоры 1 рассчитывают на усилии

$$T_1 = \sqrt{H^2 + V_1^2}, \quad (17)$$

где

$$V_1 = R_n + \frac{q\ell}{2}. \quad (18)$$

Направление усилия T_1 определяется углом

$$\alpha_1 = \arctg \frac{V_1}{H}. \quad (19)$$

Горизонтальная составляющая H у всех опор одинакова (11).

Полный путь остановки

$$S_{\text{ост}} = S_1 + S_2.$$

Полная продолжительность остановки

$$t_{\text{ост}} = t_1 + t_2.$$

При расчете гидротормоза для остановки плотов больших габаритов, при высоких ско-

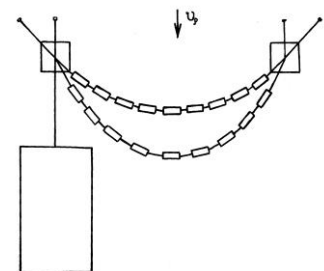


Рис. 3. Схема гидротормоза с двумя гирляндами поплавков

ростях может оказаться неприемлемо большой пролет по гидрологическим условиям. В целях компактности можно рекомендовать гидротормоз с двумя (тремя) ветвями поплавков (рис. 3).

Как показывают исследования тел, расположенных тандемом в потоке, на коэффициент сопротивления их в следе существенно влияет расстояние между телами и их форма [2].

Для рассматриваемого случая рекомендуемой формой поплавок является вертикальный щит с осадкой h_t . При расстоянии между щитами в ветвях $4,5h_t$ коэффициент сопротивления гидротормоза $C_T = 1,91$. Еще больший эффект (до $C_T = 3,0$) можно получить, если выполнить поплавки в форме парашюта (чашка, вогнутый цилиндр).

Приведем пример расчета основных параметров гидротормоза.

Пусть требуется остановить сортиментный плот для Северодвинского бассейна длиной 415 м, шириной 80 м, осадкой 1,5 м, при скорости воды в реке $v_p = 1$ м/с, ветра $v_b = 12$ м/с, уклон $i = 0,0001$. В начале активного торможения скорость плота $v_n = 1,5$ м/с.

По известным формулам находим:

силу лобового сопротивления остановленного плота набегающему потоку без учета глубины и волнения:

$$R_p = 121 \text{ кН};$$

силу влечения плота ветром

$$R_b = 59 \text{ кН};$$

силу воздействия на плот от уклона

$$R_i = 18 \text{ кН};$$

суммарную силу воздействия на плот по формуле (8)

$$R_n = 121 + 59 + 18 = 198 \text{ кН}.$$

Несущий канат гидротормоза следует подбирать на разрывное усилие с трехкратным запасом прочности 594 кН, диаметром 33,5 мм, маркировочной группы 1470 Н/мм² по ГОСТ 2680–88.

Если в качестве поплавков гидротормоза использовать, как рекомендуется в работе [5], хлыстовые пучки, то можно принять $C_T = 1,0$, $h_t = 2,0$ м.

По формуле (12) равномерно распределенная нагрузка

$$q = 1,0 \cdot 1000 \cdot 2,0 \frac{1,0^2}{2} = 1000 \text{ Н/м}.$$

Далее находим: при $k = 10$ пролет по формуле (15) $\ell = 147$ м, стрела провеса $f_{\max} = 14,7$ м, горизонтальная составляющая $H = 184$ кН (11), вертикальная составляющая $V = 74$ кН, усилие в шейме с опоры $2T = R_n = 198$ кН

(9), ее направление определяется углом $\alpha_2 = 0,382$ рад (16). Соответственно для опоры I : $V_1 = 272$ кН (18); $T_1 = 328$ кН (17); $\alpha_1 = 0,997$ рад (19).

Длина наплавной части гидротормоза в момент остановки плота (2)

$$S = 147 \left(1 + \frac{8}{3} \left(\frac{14,7}{147} \right)^2 \right) = 151 \text{ м.}$$

Тормозной путь на втором этапе (1)

$$S_2 = \sqrt{147^2 + 151^2} = 211 \text{ м.}$$

Продолжительность остановки на этапе (3) $t_2 = 281$ с.

При использовании гидротормоза со скользящими по несущему канату поплавками можно увеличить тормозной путь, не уменьшая пролет, обеспечив остановку плота при меньшем k . Например, при $k = 5$, $S \approx 163$ м (2) тормозной путь

$$S_2 = \sqrt{147^2 + 163^2} + 163 - 151 = 231 \text{ м,}$$

продолжительность активного торможения $t_2 = 308$ с.

В каждом случае остановки конкретного плота стрела провеса будет уменьшаться до тех пор, пока не наступит соотношение $T \geq R_n$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бать М.И., Джакелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 3.: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1973. – 488 с.
2. Девнин С.И. Аэрогидродинамический расчет плохообтекаемых судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1967. – 250 с.
3. Мельников Л.В., Чекалкин К.А. О свободном торможении плота в речном потоке // Лесн. журн. – 1985. – № 2. – С. 43–46. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 268 с.
5. Фоминцев М.Н. и др. Плоты (конструкция, эксплуатация, технология) / М.Н. Фоминцев, И.П. Львов, К.Б. Соколов и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 216 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 09.12.02

V.Ya. Kharitonov

Substantiation of Hydrobrake Parameters for Rafts Stoppage

Scheme of rafts stopping device in a stream is provided. Main parameters of such devices are provided using theory of flexible thread and theoretical hydromechanics. Recommendations on improving device structures and their operational efficiency are provided.

УДК 624.21:691.116

В.П. Стуков

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет около 70 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА С ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ БАЛКАМИ

Изучены факторы, определяющие качество клееной древесины в балках пролетного строения мостов. Предложены пути совершенствования технологии ее производства.

Ключевые слова: технология производства, деревожелезобетонная балка, научные исследования, качество продукции.

Современный системотехнический метод проектирования мостов [1] рассматривает научные исследования как важный инструмент совершенствования конструктивно-технологических систем объекта.

В балках большого поперечного сечения, например мостовых, применяют клееную древесину – композиционный материал, качество которого определяется многими факторами.

В задачу научных исследований входит оценка их влияния на качество продукции. Рассмотрим определяющие факторы.

1. Производство клееной древесины предполагает использование низкосортного материала. Элементы клееных деревянных конструкций изготавливают из пиломатериалов только хвойных пород, и необходимо вырезать дефекты. Для получения материалов необходимой длины приходится сращивать короткие пластины, при этом образуются многочисленные стыки. В производстве освоен и достаточно хорошо зарекомендовал себя зубчатый стык короткометражных досок. В Европе шиповое соединение выполняют согласно нормам ДИН 68140, в отечественном производстве качество и прочность склеивания заготовок должны отвечать требованиям ГОСТ 19414–90. В клееных балках с зубчатыми стыками в слоях из отдельных досок разрушение начинается со стыков, расположенных в наружных растянутых слоях [3, 6, 9]. Предел прочности стыков 31 МПа, тогда как балка без стыков разрушалась при 40 МПа, т. е. относительное снижение прочности зубчатого стыка равно 22,5%, что согласуется с данными других

исследователей. Для зубчатых клеевых соединений характерны: минимальные потери древесины на формирование соединений; технологичность и относительная простота формирования зубчатых шипов; способность соединения заклиниваться при кратковременном действии давления прессования и сохранять это давление вне пресса. Никакой нормируемый разброс стыков по длине балки и высоте ее сечения не обеспечивает равнопрочности цельной древесины, и несущая способность клееной балки будет на 20 ... 25 % меньше.

Выполненные нами экспериментальные исследования балок комбинированного сечения с ребром из клееной древесины однозначно фиксировали разрушение балки по зубчатому соединению досок наружного растянутого слоя [7]. Снижение прочности за счет применения зубчатого стыка можно уменьшить, используя принцип дробления сечений слоев. Если широкая клееная пластина составлена из 2-3 узких досок, маловероятно, чтобы стыки совместились по всей ширине. Для равнопрочности стыков и цельной древесины доски наружного слоя целесообразно применять листовые накладки в месте стыка, клей с повышенными прочностными характеристиками, более глубокую модификацию древесины в зоне стыка, граничной с клеевым швом.

2. Качество клееной древесины зависит от толщины досок. С уменьшением толщины склеиваемых по пласти досок повышается прочность и предотвращается расслоение клееной древесины. Так, с уменьшением толщины от 3,3 ... 4,5 до 2,0 ... 3,2 см средний предел прочности клееной древесины возрастает на 28,5 ... 32,5 МПа [3]. Лучшие прочностные характеристики имеет клееная древесина при толщине доски 19 мм и менее. Однако при уменьшении толщины досок увеличивается расход древесины, клеев, повышается трудоемкость изготовления.

3. На качество продукции существенно влияет влажность древесины, от которой в определенной мере зависит впитывание клеев, во время эксплуатации – подбор досок в клееном многослойном пакете. Влажность древесины, предназначенной для склеивания, не должна превышать 12 %.

В производстве пиломатериалов имеет место распиловка с тангенциальным и радиальным расположением годичных колец. В нормативной и технической литературе [9] нет категоричных требований относительно расположения колец в смежных слоях досок. Исследовали влажностные напряжения [2–4], их интенсивность и характер распределения в зависимости от взаимного расположения годичных слоев. Наиболее опасным является несогласованное сочетание слоев в досках тангентальной распиловки. Напряжения при усушке на 10 % сопоставимы с когезионной прочностью клеев и выше прочности древесины. Разрушение происходит по древесине и по клею, что недопустимо. В наиболее напряженных наружных участках сечения следует принимать согласованное расположение годичных колец в досках тангентальной распиловки из заболонной части бревна. При склеивании деталей по ширине (на кромку) их пласти должны быть взаимно противоположными (ядровые и заболонные стороны в соседних частях рас-

полагаются в разные стороны), а соединяемые кромки – одноименными (ядровая сторона к ядровой, заболонная к заболонной). При склеивании по толщине (на пласть) соединяемые пласти должны быть одноименными, а соседние кромки – противоположными [4].

4. При изменении температуры как в процессе изготовления, так и эксплуатации в клеевых соединениях возникают температурные напряжения. Это вызвано различиями коэффициентов термического расширения клея и древесины, а в самой древесине хвойных пород – вдоль и поперек волокон (соответственно $(3,6 \dots 5,4) \cdot 10$ и $(34 \dots 64) \cdot 10$, т. е. на порядок выше. При определенных геометрических параметрах соединения, физических характеристиках клея и древесины температурные напряжения сдвига могут достигнуть значений, сопоставимых с прочностью древесины поперек волокон на растяжение, что необходимо принимать во внимание с учетом сложного напряженного состояния древесины [9]. В клееной древесине, из-за стеснения свободы деформаций при изменении температуры, напряжения могут существенно снижать несущую способность многослойных элементов. Чтобы уменьшить их влияние, следует тщательнее подбирать вид клея, наполнителя, пластификатора; в технологическом процессе предусматривать по возможности более глубокую модификацию древесины в граничной с клеевым швом зоне; избегать значительных температурных перепадов при изготовлении и эксплуатации.

5. При производстве клееной древесины необходимо выдерживать нормируемые ровность и толщину клеевого шва, которая колеблется от 0,1 до 0,8 мм. С увеличением толщины в шве возникают внутренние напряжения. Это вызвано усадкой клея при его отверждении в результате испарения растворителя и поликонденсации [9]. Большинство клеев, применяемых для склеивания древесины, отличается значительной усадкой при отверждении. По данным [5], усадочные напряжения адгезионной пары клей – древесина составляют: для КБ-4 – 9,0; ФР-12 – 5,5; ФР-100 – 4,0 МПа. Напряжения опасны как для древесины поперек волокон, так и для адгезионных связей, обеспечивающих совместную работу разнородных материалов в клееном многослойном пакете.

6. На работу клееной древесины существенно влияют состояние граничной зоны клей – древесина и напряжения в ней. При склеивании прилегающие зоны древесины пропитываются клеем и создаются граничные слои из модифицированной древесины, физико-механические свойства которой иные, чем у натуральной. Это приводит к изменению распределения напряжений в граничной зоне. В многослойном пакете, каким является балка, такие зоны с обеих сторон клеевого шва достаточно велики в общем объеме элемента, что отражается на его напряженном состоянии.

В композитах, выполненных из материалов с разными модулями упругости, с течением времени под действием длительных нагрузок и пластических деформаций происходит перераспределение напряжений. Материал с более высоким модулем упругости оказывается сжатым, а с меньшим – растянутым.

Модифицированная древесина граничной зоны имеет повышенный по сравнению с цельной древесиной модуль упругости. Это приводит к снижению концентрации напряжений в клеевом шве [8], что подтверждается оценкой его температурных напряжений и плоского напряженного состояния [2]. Существует мнение, что при образовании граничных слоев уменьшаются усадочные напряжения до 1,0 ... 3,0 МПа. Следовательно, в меньшей мере снижается адгезия. Граничные слои благотворно влияют на технологические напряжения, способствуя процессу релаксации.

Необходимым элементом технологического процесса производства клееной древесины на клеях, имеющих усадку, является выделение достаточного времени на более глубокую пропитку полимером прилегающей древесины. Это относится к резорциновым клеям, которые непригодны для быстрого склеивания деревянных конструкций. Ускоренный режим применим для полиуретановых и безусадочных клеев-расплавов.

Образование граничных слоев из модифицированной древесины способствует снижению вязкости клея. Однако низкая вязкость клея обычно соответствует низкой концентрации его, что нежелательно из-за значительного увлажнения древесины и увеличения времени отверждения клея. Таким образом, снижение вязкости клея в случае модифицирования граничных зон способствует получению высококачественной клееной продукции. Глубина пропитки древесины со стороны пластей пиломатериалов очень мала, поскольку угол перерезывания волокон близок к нулю и колеблется в пределах угла косослоя в древесине. Влияние глубины пропитки на прочность клеевых соединений древесины можно проследить на примере зубчатых соединений [5], имеющих угол перерезывания волокон 6". При снижении вязкости клея ФР-12 (по ВЗ-1) от 100 до 57 см глубина пропитки увеличивается от 0,11 до 0,12 мм и прочность от 13,8 до 19,4 МПа.

Качество клееной древесины зависит также от чистоты обработки поверхностей склеивания, способа его нанесения, давления запрессовки и других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирский С.Р.* Современные методы проектирования мостов. –СПб.: Папирус, 1998. – 493 с.
2. Исследование прочности и внутренних напряжений при склеивании древесины и других материалов в строительных конструкциях: Тр. / ЦНИИСК. – М., 1976. – 160 с.
3. Исследование зависимости прочности деревянных конструкций от технологии их изготовления: Сб. тр. / ЦНИИСК. – М., 1982. – 180 с.
4. Исследования в области деревянных конструкций: Сб. тр. / ЦНИИСК. – М., 1985. – 182 с.
5. Практическое руководство по деревообработке / Сост. И.М. Фридман. – СПб.: Политехника, 2000. – 543 с.

6. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; Пер. с англ. Я.П. Горелика, Т.В. Михайловой; Под ред. С.Н. Горшина, А.Н. Кириллова, В.Е. Кузнецова и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.

7. *Стуков В.П.* Мосты с балками комбинированного сечения из клееной древесины и железобетона. – Архангельск: АГТУ, 1997. – 176 с.

8. *Фрейдин А.С., Вуба К.Т.* Прогнозирование свойств клееных соединений древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 224 с.

9. *Шутенко Л.Н.* и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве / Л.Н. Шутенко, В.З. Клименко, Ю.Д. Кузнецов и др. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 16.02.04

V.P. Stukov

Improvement of Constructive-technological System of Bridge Framework with Wood-Reinforced Concrete Beams

Factors characterizing quality of glued wood in beams of bridge framework are studied. Ways of improving its production technology are suggested.

УДК 531.001

С.И. Морозов, Д.Н. Шостенко

Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 160 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



Шостенко Денис Николаевич родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической механики АГТУ. Имеет 1 печатную работу в области теории удара.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ СЖАТИИ И СОУДАРЕНИИ УПРУГОПЛАСТИЧНЫХ ТЕЛ

Приведены результаты обработки данных лабораторных исследований по контактному сжатию двух тел. Методами математической обработки найдены значения параметров пластичности и нелинейности.

Ключевые слова: твердость, пластичность, радиусы тел, силовая функция, коэффициенты пластичности и нелинейности.

Методика экспериментального определения параметров (коэффициентов) пластичности B и нелинейности n рассмотрена в работах [3, 5]. Эти параметры относят к основным характеристикам силовой функции, которые выражают связь между сжимающей силой F и деформацией тел α в точке их соприкосновения: $F = F(\alpha)$.

Цель данной статьи – проанализировать экспериментальные данные и определить с их помощью параметры силовой функции при сжатии упруго-пластичных тел.

Экспериментальные графики зависимости $F(\alpha)$ показана на рис. 1. Точка A с координатами α_m и F_m делит эту зависимость на две части. Левую (кривая 1) называют фазой нагрузки, правую (кривая 2) – фазой разгрузки. Буквой α_1 обозначена остаточная, α_m – полная (максимальная) деформа-

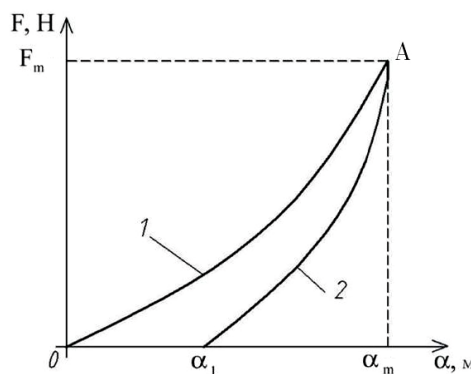


Рис. 1. Экспериментальная зависимость $F(\alpha)$

ция; F_m – максимальная сжимающая сила.

Для первой фазы силовую функцию принято [4] выражать по уравнению

$$F = B\alpha^n; \quad (1)$$

для второй фазы – по уравнению

$$F = B_1(\alpha - \alpha_1)^{n_1}, \quad (2)$$

где B, n – коэффициенты пластичности и нелинейности для первой фазы удара;

B_1, n_1 – то же для второй фазы.

Такие исследования ранее были выполнены А.Н. Динником. Результаты их приведены в работе [1], материалы математической обработки – в работе [2]. В наших экспериментах использована в основном эта же методика [5]. Рассмотрено сжатие двух подшипниковых шариков из стали ШХ15, которые имели шесть различных значений твердости и пять значений радиусов. Каждый опыт проводили три раза в два этапа: 1) нагрузка от нуля до 10 000 Н с шагом 1000 Н; 2) разгрузка в обратном порядке от 10 000 Н до нуля.

В качестве примера в табл. 1 приведена часть экспериментального материала.

Таблица 1

Сжимающая сила F , кН	Нагрузка		Разгрузка	
	Деформация тел $\alpha \cdot 10^{-6}$, м, при диаметре шаров, мм			
	10,319	12,700	10,319	12,700
0	0	0	5,3	3,9
1	2,4	1,1	7,4	5,2
2	3,5	2,5	8,5	5,7
3	6,6	3,7	11,0	6,5
4	8,3	4,9	12,6	7,2
5	10,4	5,6	13,7	7,8
6	12,3	6,3	15,4	8,6
7	14,1	7,2	16,5	9,6
8	15,9	7,9	17,2	10,3
9	17,2	9,4	18,8	11,1
10	19,5	11,3	19,5	11,3

Математическая обработка данных этих и других опытов состояла в их аналитическом и графическом сглаживании, а также аппроксимации значений α по методу наименьших квадратов.

Принятая обработка не дает возможности полностью устранить погрешность экспериментальных данных, очевидно, из-за недостаточной центровки шаров при их сжатии. Однако экспериментальные материалы в принципе правильно отражают физические закономерности процессов сжатия (и разгрузки) шаров, хотя сомнения в точности определения расчетных величин остаются.

Результаты опытов по определению расчетных параметров B и n , а также деформации тел α_m и α_1 приведены в табл. 2.

Твердость T материалов шариков изменяли в диапазоне от исходного состояния HRC 65 до конечной HRC 0 за счет термической обработки (отпуск или отжиг). Диаметры шариков определяли с помощью микрометра (с точностью $\pm 0,001$ мм) по стандартной методике. Значения максимальной α_m и остаточной α_1 деформации тел найдены с точностью $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ м. Такую же точность имеют опыты А.Н. Динника [1].

Эти данные использованы в дальнейших расчетах, поэтому зависимости $\alpha_m(T)$ и $\alpha_1(T)$ аппроксимированы по методу наименьших квадратов уравнениями прямой линии

$$\alpha_m = a_1 - a_2 T; \quad (3)$$

$$\alpha_1 = b_1 - b_2 T. \quad (4)$$

Значения коэффициентов a и b для отдельных диаметров шариков приведены в табл. 3.

Графики зависимости коэффициентов пластичности B и B_1 от твердости T приведены на рис. 2. Каждый график имеет примерно гиперболический вид.

При большой твердости материала шариков ($T = 62 \dots 66$ HRC) значения B достаточно велики. По мере снижения твердости значение B резко уменьшается. В большинстве случаев при $0 \leq T \leq 50$ оно сравнительно

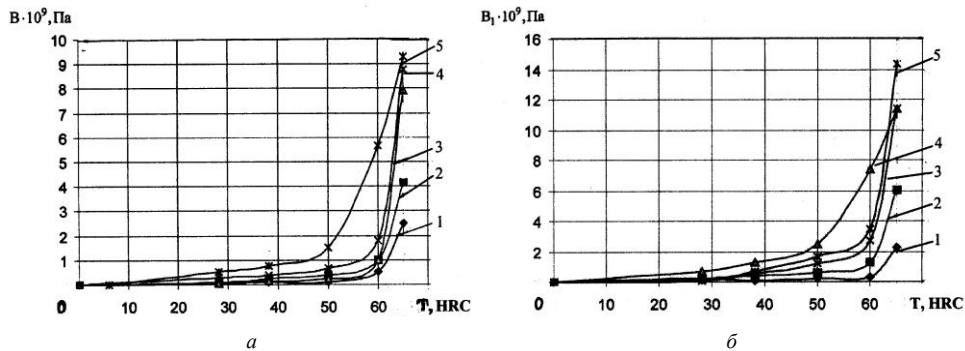


Рис. 2. Зависимость $B = B(T)$ для случаев загрузки (а) и разгрузки (б) при диаметре шариков: 1 – 10,319; 2 – 12,700; 3 – 15,875; 4 – 18,256; 5 – 22,225 мм

Таблица 2

T, HRC	Диаметр шариков, мм	Нагрузка		Разгрузка		Смятие, м			Скорость, м/с		Коэффициент восста- новления ϵ	
		$B \cdot 10^9$, Па	n	$B_1 \cdot 10^9$, Па	n_1	$\alpha_m \cdot 10^{-6}$	$\alpha_1 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\alpha \cdot 10^{-6}$	v_n	u_n	в опытах	средний
65	10,319	2,512	1,447	2,245	1,396	195	53	142	6,140	3,942	0,642	0,718
	12,700	4,151	1,396	6,035	1,396	113	39	74	3,791	2,752	0,726	
	15,875	7,924	1,485	6,185	1,500	112	42	70	2,421	1,670	0,690	
	18,256	8,751	1,485	11,349	1,500	119	34	85	2,224	1,659	0,746	
	22,225	9,273	1,492	12,806	1,500	99	27	72	1,312	1,033	0,788	
60	10,319	0,353	1,296	0,424	1,187	207	63	144	4,850	3,536	0,729	0,652
	12,700	0,657	1,241	0,675	1,210	158	45	113	4,592	3,212	0,700	
	15,875	0,736	1,228	0,875	1,206	144	49	95	3,318	2,289	0,698	
	18,256	1,806	1,306	1,726	1,268	134	53	81	2,143	1,179	0,550	
	22,225	5,648	1,477	5,059	1,402	112	36	76	1,478	0,884	0,598	
50	10,319	0,297	1,033	0,244	1,109	227	105	122	11,164	5,325	0,477	0,614
	12,700	0,363	1,147	0,406	1,126	190	79	111	6,414	3,823	0,596	
	15,875	0,431	1,106	0,828	1,192	189	80	109	5,965	4,557	0,764	
	18,256	0,563	1,175	0,889	1,179	156	66	90	3,285	2,102	0,690	
	22,225	1,529	1,190	1,050	1,236	138	44	94	3,064	1,660	0,542	
38	10,319	0,093	1,093	0,124	1,003	239	188	51	8,938	2,163	0,242	0,279
	12,700	0,108	1,141	0,229	1,163	213	166	47	3,658	1,043	0,285	
	15,875	0,222	1,210	0,806	1,232	138	114	29	1,709	0,461	0,270	
	18,256	0,375	1,207	0,713	1,203	163	123	40	2,428	0,711	0,293	
	22,225	0,560	1,144	0,716	1,197	188	92	96	3,437	1,052	0,306	
28	10,319	0,043	1,103	0,082	1,170	232	209	23	4,521	0,515	0,114	0,143
	12,700	0,045	1,261	0,204	1,234	203	183	20	2,455	0,390	0,159	

	15,875	0,168	1,091	0,287	1,380	133	119	14	2,760	0,326	0,118	
	18,256	0,262	1,094	0,737	1,381	144	129	15	2,995	0,340	0,112	
	22,225	0,365	1,094	0,888	1,222	212	110	22	2,403	0,507	0,211	
HB 166	10,319	0,013	1,050	0,046	1,017	326	290	36	4,454	0,828	0,186	0,179
(T ≈ 0	12,700	0,047	1,047	0,287	1,133	324	298	26	4,220	0,726	0,172	
в HRC)	15,875	0,118	1,109	0,212	1,002	226	198	28	3,718	0,602	0,162	
	18,256	0,234	1,087	0,258	1,065	245	177	68	3,093	0,551	0,178	
	22,225	0,302	1,141	0,282	1,105	286	205	81	3,009	0,584	0,194	

Таблица 3

Диаметр шариков, мм	$\alpha_m, \text{ м}$		$\alpha_1, \text{ м}$	
	$a_1 \cdot 10^{-6}$	$a_2 \cdot 10^{-6}$	$b_1 \cdot 10^{-6}$	$b_2 \cdot 10^{-6}$
10,319	311,1	1,829	305,0	3,829
12,700	313,9	2,832	303,2	4,226
15,875	205,9	1,218	196,1	2,383
18,256	227,3	1,670	186,5	2,228
22,225	290,5	2,937	197,5	2,810

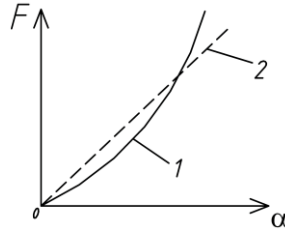
невелико, что свидетельствует о высокой пластичности материала. Примерно такой же вид имеет зависимость $B_1(T)$.

Графики зависимости $F = F(\alpha)$ показаны на рис. 3. При твердости $T = 63 \dots 65 \text{ HRC}$ показатель n близок к 1,5 (кривая 1), при $T \rightarrow 0$ имеем $n \rightarrow 1$. В последнем случае зависимость $F(\alpha)$ аппроксимируется уравнением прямой линии (кривая 2)

$$F = B\alpha. \quad (5)$$

Значение B при $n = 1$ можно найти по формуле

$$B = \frac{F_m}{\alpha_m}. \quad (6)$$

Рис. 3. Принципиальная зависимость $F = F(\alpha)$

Таким образом, экспериментальный материал и его анализ дают обоснование параметров упругопластичного удара. С помощью найденных величин B, B_1, n, n_1 можно решать различные задачи упругопластичного удара различных тел.

В частности, для оценки достоверности экспериментальных величин проведем дополнительные вычисления (см. табл. 2). В ней, помимо полученных ранее величин B, n, B_1 и n_1 , приведены экспериментальные значения сжатия шариков (α_m и α_1) и их разности $\Delta\alpha = \alpha_m - \alpha_1$.

По формулам, приведенным в работе [3], можно рассчитать также максимальные значения относительной скорости шариков до удара (на первой фазе) v_n и после удара u_n :

$$v_n = \sqrt{\frac{2B\alpha_m^{1+n}}{(1+n)M}}; \quad (7)$$

$$u_n = \sqrt{\frac{2B_1\Delta\alpha^{1+n_1}}{(1+n_1)M}}, \quad (8)$$

где M – масса шариков, зависящая от их диаметров:

$2R, \text{ мм}$	$M, \text{ кг}$	$2R, \text{ мм}$	$M, \text{ кг}$
10,319	0,0045	18,256	0,0248
12,700	0,0084	22,225	0,0448
15,875	0,0163		

Затем для каждого опыта определяли коэффициенты восстановления ε по формуле

$$\varepsilon = \frac{u_n}{v_n} = \sqrt{\frac{B_1(1+n)\Delta\alpha^{1+n_1}}{B(1+n_1)\alpha_m^{1+n}}}. \quad (9)$$

Таким образом, экспериментальные значения B , n , B_1 , n_1 и вычисленные по ним значения ε соответствуют условию задачи на сжатие и соударение упругопластичных тел.

Например, по опытам А.Н. Динника [1], $\varepsilon = 0,638 \dots 0,670$, что соответствует нашим опытам при $T = 65$ НРС. В работе [3, с. 19] для случая соударения стали о сталь имеем: для закаленной стали $\varepsilon = 0,738$, для мягкой $\varepsilon = 0,615$, т. е. получаем практически те же самые значения, что и в табл. 2.

Это позволяет считать результаты выполненных лабораторных работ вполне достоверными, соответствующими выводам работы [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динник А.Н. Удар и сжатие твердых тел: Избр. тр. Т.1. – Киев: АН СССР, 1952. – С. 13–144.
2. Морозов С.И. Экспериментальное определение параметров силовой функции // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 57–63. – (Изв. высш. учеб. заведений)
3. Морозов С.И., Попов М.В., Морозов В.С. Курс лекций по теории удара: Учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 110 с.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М.: Наука, 1997. – 224 с.
5. Шостенко Д.Н. Методика экспериментального определения параметров силовой функции // Актуальные проблемы современной науки. Естественные науки: Тр. 4-й Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Ч. 1-3: Математика. Механика. Машиностроение. – Самара: Изд-во СамГТУ, 2003. – С. 121–124.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 30.03.04

S.I. Morozov, D.N. Shostenko

Determination of Potential Function Parameters under Compression and Collision of Elasto-plastic Bodies

Data processing results of laboratory research for contact compression of two bodies are provided. Values of plasticity and nonlinearity parameters are found by methods of mathematical processing.

УДК 624.21:691.116

В.П. Стуков

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ МОСТОВОЙ БАЛКИ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Исследованы некоторые операции изготовления многослойных мостовых балок, способствующие существенному повышению их качества

Ключевые слова: мостовые балки, клееная древесина, особенности изготовления, контроль качества.

Многослойные мостовые балки из клееной древесины длиной до 18 ... 20 м вместе с рамами и арками являются наиболее сложными строительными изделиями. В последнее десятилетие их изготовление практически прекратилось.

Основной причиной недостаточного внедрения клееной древесины в мостостроение стала дороговизна изделий при низком качестве продукции отечественного производства. Отсутствует государственная программа строительства современных деревянных мостов. Как в практике строительства, так и в нормативных документах мост из древесины рассматривали как временный, впоследствии заменяемый на мост из железобетона или стали.

В настоящее время производство клееной древесины сориентировано на выпуск несложного ассортимента изделий щита деревянного клееного, вагонки, плинтуса и пр.

В практике отечественного производства крупноразмерных элементов часто опускаются или не на должном уровне проводятся некоторые операции, что существенно влияет на качество конечного продукта.

Традиционно процесс производства мостовых балок включает: отбор и подготовку пиломатериалов из ели, режы сосны; сращивание и строгание пластин, обмазку их клеем, сборку пластин в заготовку, прессование клееной балки, обработку клееных балок, надзор за их качеством.

В задачу наших исследований входили следующие операции изготовления многослойных большепролетных мостовых балок:

- машинная сортировка по прочности пиломатериалов, предназначенных для склеивания;
- контроль чистоты обработки склеиваемых поверхностей;
- выдерживание временного интервала между строганием поверхности и склеиванием пластин;
- сборка заготовок;
- контроль качества.

При подготовке пиломатериалов сортировку их по прочности часто производят визуально по наличию сортообразующих пороков. Однако опыт показал, что такая сортировка очень неточна. Наличие пороков (главным

образом сучков) сложным образом связано с прочностью конкретных сортиментов ввиду многообразия сучков и наличия трудно учитываемых факторов: наклон волокон, плотность древесины, выход сучка на кромку и т. п. В настоящее время разработаны и в зарубежной практике нашли широкое применение механические установки для сортировки пиломатериалов по прочности. Машинная сортировка позволяет разбить партию пиломатериалов на три категории: первую используют в растянутой зоне деревоклееной балки, вторую – в сжатой зоне, третью – в средней части балки. Такая подсортировка позволяет уменьшить сечение клееных элементов на 20 % при гарантированном запасе прочности [1].

В отечественном производстве клееной древесины для машинной сортировки по прочности использовали установку «Timgrader Raute» (Финляндия), предназначенную для механической сортировки пиломатериалов в Финляндии (VTT), Англии (BSI), Швеции (Statens Planverk) согласно стандартам этих стран. Установка может входить в состав отдельной сортировочной линии или встраиваться в линию строгания. При сортировке доски разделяют на три категории, одновременно отмечают наиболее слабые части досок для их вырезки на участке торцовки. Машинная сортировка позволяет в забракованной доске оставить участки деловой древесины (пиломатериала), отвечающие требованиям той или иной категории, и запустить их в дальнейшее производство. Здесь в полной мере реализуется принцип использования в клееной древесине коротких пиломатериалов, что удешевляет выпускаемую продукцию.

При подготовке пиломатериалов к склеиванию большое значение имеет чистота обработки поверхностей. Они должны быть гладкими, ровными, свободными от следов механической обработки, поврежденных волокон и других поверхностных дефектов [2]. Опыт показывает, что оптимальной операцией подготовки поверхности древесины к склеиванию является цилиндрическое фрезерование (строгание), которое обычно обеспечивает чистоту поверхности не ниже 200 мкм. При изношенности оборудования, плохой заточке инструмента качество обработки поверхности может уменьшаться. В деревоклееных балках некоторых автодорожных мостов, эксплуатируемых в Архангельской области, были выявлены случаи интенсивного растрескивания клеевых швов [3]. Позже выяснилось, что при выполнении ряда заказов были допущены значительные отклонения в чистоте обработки поверхности для склеивания по пласти. По нашему мнению, при затвердевании клея, которым пропитывают поврежденные волокна, снижается адгезия. При эксплуатации мостового сооружения в условиях динамических нагрузок и жесткого температурно-влажностного режима клеевые швы с подобными нарушениями технологии производства подвергаются повышенному растрескиванию. В практике зарубежного производства [2] для улучшения качества поверхностей склеивания предлагают их шлифовку с использованием мелкозернистых шлифовальных материалов. Мнение о лучшем склеивании шероховатых поверхностей считается ошибочным.

При строгании пиломатериалов следует тщательно следить за сроками исполнения следующего технологического процесса – склеивания. Разрыв между этими процессами не должен превышать 4 ... 8 ч, поскольку под воздействием различных факторов окружающей среды поверхность древесины стареет и ухудшается способность к смачиванию клеем, обеспечивающим молекулярный контакт жидкого адгезива и субстрата. Как показывает опыт, создавая резерв строганных досок для последующего склеивания, забывают о сроках их использования в ущерб качеству продукции.

Следует отказаться от варианта ручной сборки пластин в заготовку многослойной большепролетной балки, так как существует опасность превышения сроков жизнеспособности клея из-за значительного объема подготовленной для сборки древесины и сравнительно короткого технологического периода сборки. Малая вязкость клея, требуемая технологией нанесения на поверхность пластины (доски), недопустима при сборке, когда необходима повышенная концентрация клея для ускорения отверждения и получения более качественного клевого шва. Поэтому существует открытая выдержка до 30 мин, в течение которой доски с нанесенным на них клеем выдерживают для повышения его концентрации в результате испарения растворителя. Этот прием отнимает значительную часть времени жизнеспособности клея. Сборка и прессование (достижение полного давления) должны происходить в период закрытой выдержки. Если по каким-то причинам технологический процесс выйдет за рамки жизнеспособности клея, то желеобразная масса, в которую переходит жидкий клей, теряет способность к адгезии и не растворяется в воде. Например, для широко распространенных резорциновых клеев время закрытой выдержки не превышает 1,5 ... 2,0 ч, что не так уж много для ручной сборки крупногабаритных клееных элементов с последующим прессованием. Кроме того, ручная сборка в отличие от машинной не имеет резервов для подъема производительности и удешевления выпускаемой продукции.

Мостовые балки являются несущими конструкциями, предназначенными для длительных сроков эксплуатации, поэтому контроль их качества строго регламентирован и осуществляется непрерывно на трех стадиях: входной, текущий и выходной.

На стадии входного контроля оценивают качество предназначенной для склеивания древесины. В отличие от производства столярных изделий, где достаточен выборочный контроль, при производстве многослойных балок следует предъявлять повышенные требования к качеству сырья и материалов и применять сплошной контроль с оценкой нормативных показателей (влажность и напряжения в пиломатериалах после сушки, условная вязкость клеев (ГОСТ 9070–75), их жизнеспособность и т. д.).

Текущий контроль представляет собой надзор за параметрами изготовления и напрямую связан с операционным – контролем продукции или технологического процесса во время выполнения или сразу после завершения конкретной технологической операции. Поскольку балки являются крупными элементами и количество выпускаемой продукции за смену ис-

числяется единицами, то контроль должен быть активным, т. е. осуществляемым в процессе производства с помощью измерительных приборов, встроенных в технологическое оборудование и используемых в управлении процессом производства.

Этот вид контроля осуществляют при сортировке по прочности и при склеивании, когда расход клея (не менее 350 г/м^2) определяют визуально или весовым методом. Контролируют также торцовое давление запрессовки и продолжительность действия полного торцового давления в случае зубчатого клеевого соединения. Для проверки качества клеевых соединений проводят систематические механические испытания (по ГОСТ 25584–90, ГОСТ 15613.1–84).

После склеивания заготовок по длине и последующего строгания проверяют качество поверхностей склеивания, что важно для последующего склеивания пиломатериалов по сечению (по ГОСТ 7016–82).

При прессовании вместе с контролем работы кассет и прессы отслеживают процесс отверждения клея в швах. Для ускорения отверждения клея используют конвективный нагрев, длительность которого определяется временем достижения соединением технологической прочности. Отверждение клея проверяют после дополнительной выдержки изделия в цехе или камере нагрева при определенной температуре.

Послепрессовая обработка клеевых балок имеет свои особенности, связанные с большими габаритами изделий (опиловка торцов, строгание пластей, боковая калибровка балок, отделка балки, в том числе закругление кромок, выборка отверстий, пазов и т. д.).

Для улучшения эксплуатационных свойств производят антисептирование и антипирирование клеевых балок.

В ходе выходного контроля определяют качество клеевых соединений и всей балки. Особое внимание уделяют качеству склеивания. Бракуют балки, имеющие несклеенные участки длиной более 150 мм, толстые клеевые швы (более 1 мм), выступы досок (свесы) более чем на 7 % ширины в сторону от вертикали пакета и другие дефекты, оговоренные нормативными документами.

Для проверки качества склеивания балки испытывают на изгиб до разрушения в соответствии с нормативными требованиями. Для этого из каждой партии отбирают худшие по внешнему виду балки. В процессе испытаний отмечают моменты образования сколов, трещин, складок, разрывов досок и т.п., измеряют прогибы балки. Части балки, оставшиеся после разрушения, используют для определения прочности и водостойкости клеевых швов.

Результаты наших исследований направлены на улучшение технологии производства многослойных балок из клееной древесины в соответствии с требованиями их длительной эксплуатации в мостовом сооружении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по лесопилению / Ю.А. Варфоломеев, И.С. Дружин, Ю.А. Дьячков и др.; Под ред. А.М. Копейкина.-2-е изд., перераб. и доп. – М.: Экология, 1991. – 496 с.

2. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; Пер. с англ. Я.П. Горелика и Т.В. Михайловой; Под ред. С.Н. Горшина, А.Н. Кириллова, В.Е. Кузнецова и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.

3. *Стуков В.П.* Мосты с балками комбинированного сечения из клееной древесины и железобетона / Арханг. гос. техн. ун-т. – Архангельск, 1997. – 175 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 16.02.04

V.P. Stukov

Peculiarities of Producing Laminated Bridge Beam Made of Glued Wood

Some operations of producing laminated bridge beams resulting in sufficient upgrading are investigated.





МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.09

Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин

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



Дундин Николай Иванович родился в 1955 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной механики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области прикладной механики и лесопильного оборудования.



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЛЕСОПИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Рассмотрены основные направления интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании.

Ключевые слова: экстенсивный и интенсивный пути развития производства, уровни интенсификации, повышение производительности, рациональное использование сырья, снижение энергозатрат и металлоемкости оборудования, техника нового поколения, гибкие автоматизированные лесопильные линии.

Существуют два пути развития производства – экстенсивный и интенсивный. Экстенсивный путь предполагает увеличение объемов производства при использовании сложившихся технологий, оборудования, приемов и способов организации производства за счет пропорционального роста расхода энергии, сырья, материалов, транспорта и вовлечения новых трудовых ресурсов. Этот путь бесперспективен, так как при этом не растет качество и не снижается себестоимость продукции, что делает ее неконкурентоспособной; повышается нагрузка на окружающую среду и требуется все

большее количество работающих (но не высокой квалификации); не используются достижения науки и не разрабатываются высокие технологии.

Перспективным является интенсивный путь, при котором во все возрастающих объемах производится продукция высокого потребительского качества при минимальных расходах сырья, энергии, материалов и человеческих ресурсов.

Основные направления интенсификации переработки древесины могут быть реализованы на трех уровнях [1, 2] (рис. 1).

Первый уровень – интенсификация пиления древесины на действующем лесопильном оборудовании серийным инструментом. Для его реализации необходимо:

- повысить качество изготовления дереворежущего инструмента за счет уменьшения разнотолщинности пил, повышения прямолинейности кромок рамных и ленточных пил (особенно задней кромки ленточных пил), обеспечения равномерности твердости и оптимальности начального напряженного состояния, повышения плоскостности дисков круглых пил;

- использовать рекомендации по выбору оптимальных параметров пил в зависимости от высоты пропила, породы и гидротермического состояния древесины (толщина и ширина для рамных и ленточных пил, диаметр для круглых пил, шаг, угловые параметры, уширение зубьев);

- использовать рациональные режимы подготовки пил к работе и установки их в станок;

- разработать и использовать средства контроля качества подготовки и установки пил в станок;

- разработать и использовать рекомендации по ремонту, выверкам и эксплуатации лесопильных станков;

- применять рациональные режимы пиления древесины;

- повысить качество подготовки пиловочного сырья к распиловке за счет обеспечения требуемой точности сортировки по диаметрам (при снижении точности сортировки от ± 1 до ± 2 см выход пиломатериалов уменьшается на 1,5 %, от ± 2 до ± 3 см – на 2,1 %), исключить распиловку пиловочника, имеющего повышенную кривизну (для пиловочника 1-, 2- и 3-го сортов соответственно не допускается кривизна более 1,0; 1,5 и 2,0 %), выполнять оцилиндровку закомелистой части бревен (уменьшаются энергозатраты на резание древесины, улучшается базирование бревен при пилении, устраняются засоры при рамной распиловке, уменьшается затупление пил), применять гидротермическую обработку древесины перед распиловкой (оттаивание мерзлой древесины, удаление водой ила и песка);

- разработать оптимальные технологические схемы распиловки бревен с учетом их геометрических характеристик, технических возможностей лесопильного оборудования и оборудования для сортировки пиловочника по размерам;

- создать типовые централизованные инструментальные участки, оснащенные современными станками для подготовки пил и средствами контроля за качеством их подготовки к работе;

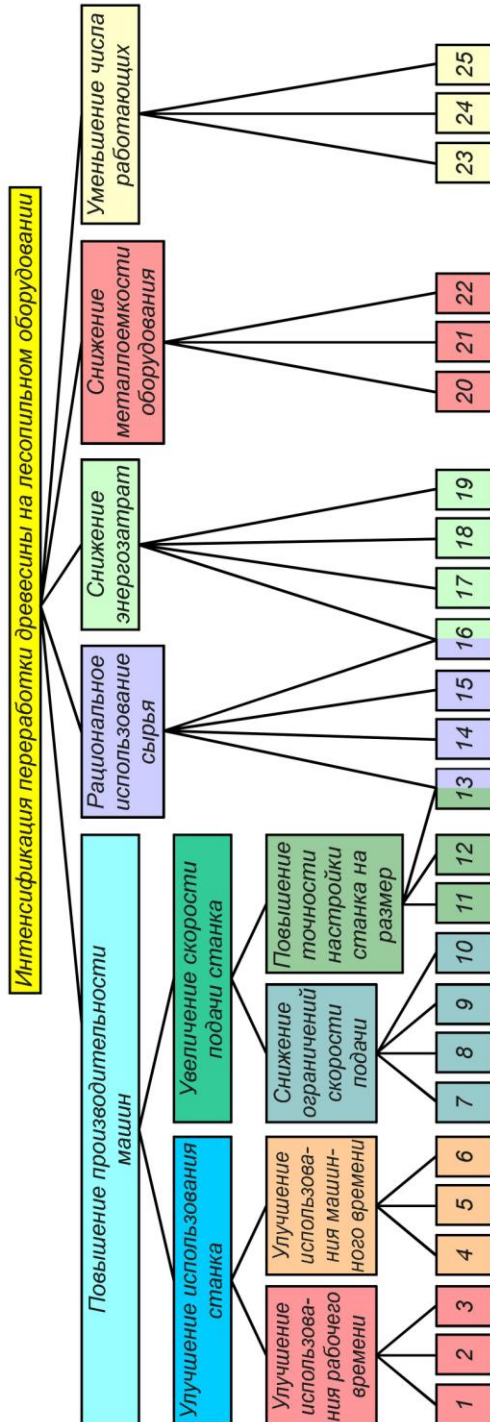


Рис. 1. Пути интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании: 1 – рациональная подготовка станка и инструмента к работе; 2 – повышение надежности станка и инструмента; 3 – полная загрузка станка сырьем; 4 – уменьшение межторцовых разрывов; 5 – уменьшение скольжения бревен в механизме подачи; 6 – применение станков проходного типа; 7 – ограничение скорости подачи по шероховатости поверхности привода; 8 – по точности пиления; 9 – по работоспособности межзубных впадин; 10 – по мощности привода; 11 – повышение точности ориентирования бревна (бруса) в станке; 12 – соответствие точности позиционирования инструмента; 13 – повышение точности пиления; 14 – уменьшение ширины пропила; 15 – повышение точности пиления; 16 – уменьшение ширины пропила; 17 – повышение стойкости зубьев; 18 – выбор оптимальных угловых параметров зубьев пил; 19 – улучшение подготовки бревен перед распиловкой; 20 – специализация станков по сырию; 21 – изготовление станков из современных материалов; 22 – улучшение конструкций узлов станка; 23 – применение гибких автоматизированных лесопильных линий; 24 – централизованная подготовка инструмента; 25 – современные методы ремонта оборудования

подготовить высококвалифицированные кадры для обслуживания дереворежущего инструмента, лесопильного оборудования и средств автоматики;

обеспечить информацией (с помощью видеотехники, обучения на курсах, выставок, конференций, статей, книг, плакатов) о современном лесопильном оборудовании и дереворежущем инструменте специалистов, занимающихся их разработкой, созданием и эксплуатацией;

улучшить организацию труда и ликвидировать простои оборудования.

Первый уровень интенсификации и повышения эффективности переработки пиловочного сырья в основном связан с повышением технической культуры на лесопильных предприятиях. Элементы первого уровня в значительной степени проработаны в научно-исследовательских и учебных институтах, имеется опыт их использования на передовых отечественных и зарубежных предприятиях.

Приведем несколько примеров. Большинство предприятий применяют рамные пилы только одного шага, но распиливают ими бревна различных диаметров. Несогласование шага пил с высотой пропила может привести к снижению производительности лесопильной рамы до 20 % или к значительному ухудшению качества пиломатериалов. Предприятия заказывают рамные пилы одного шага, хотя ГОСТ 5524–75 предусматривает выпуск пил четырех разных шагов.

Рамные и ленточные пилы часто выходят из строя из-за недостаточной усталостной прочности. Это приводит к простоям оборудования, повышенному расходу инструмента и увеличению трудозатрат на его подготовку. Вместе с тем, только правильное оформление межзубовых впадин с последующей их подшлифовкой дает повышение прочности и долговечности пил на 30 ... 40 %. Рамные пилы недостаточно устойчивы, и на предприятиях для повышения точности пиления идут на их натяжение выше нормы, что приводит к поломке пил, захватам и поперечин пильных рамок, а также на применение толстых пил, что повышает количество опилок и энергозатраты на пиление. Установка межпильных прокладок в соответствии с высотой пропила и пил с оптимальным эксцентриситетом линии натяжения позволит повысить устойчивость пил и точность пиления на 30 ... 40 %. Можно привести и другие примеры. Таким образом, первый уровень повышения эффективности пиления сравнительно прост, не требует больших затрат и быстро реализуем.

Второй уровень – модернизация действующего оборудования. Оно может иметь прежние технические решения с улучшенными параметрами или измененными узлами и механизмами, но эти изменения носят характер улучшений и не содержат принципиально новых технических решений. Примеры модернизации оборудования: установка аэростатических направляющих для пил над и под распиливаемым материалом у лесопильных рам и круглопильных станков и отжимных аэростатических направляющих у ленточнопильных станков; установка в механизм натяжения ленточных пил

упругих элементов, быстро реагирующих на изменение натяжения пил и быстро восстанавливающих его; замена однопильных ленточнопильных станков на сдвоенные при распиловке бревен малых и средних диаметров. Могут быть и другие примеры.

Третий уровень – создание лесопильного оборудования нового поколения, а на его базе – новых высоких технологий. Основные недостатки, присущие существующим лесопильным станкам, не могут быть устранены путем модернизации. Необходимы станки нового типа. Такие станки должны иметь новые узлы и механизмы, созданные на основе принципиально новых технических решений.

Характерные черты техники нового поколения, отличающие ее от модернизированной техники: во-первых, реализация новой технической идеи – научного открытия, крупного изобретения, комплекса изобретений; во-вторых, скачкообразный рост эффективности, повышения производительности труда, экономия сырья, снижение материалоемкости и энергозатрат. Для своевременной смены поколений техники необходимо, чтобы последние фазы жизненного цикла предыдущего поколения совпадали с первыми фазами цикла нового поколения. Поэтому важно вовремя переориентировать конструкторов и изготовителей на разработку и освоение техники нового поколения.

Создание современных машин, приборов, новых материалов и технологий – сложный процесс, требующий соответствующей государственной политики, создания или восстановления научных школ, аналитических центров, отраслевых конструкторских бюро, развития промышленного капитального строительства, подготовки творческих высококвалифицированных специалистов (рис. 2).

Аналитический центр отрасли изучает тенденции развития того или иного вида оборудования и с учетом научных открытий, научных изобретений, результатов фундаментальных и прикладных исследований, достижений в смежных отраслях промышленности, а также на основании анализа зарубежной технической информации выбирает и обосновывает направления работ по созданию станков, материалов и технологий нового поколения.

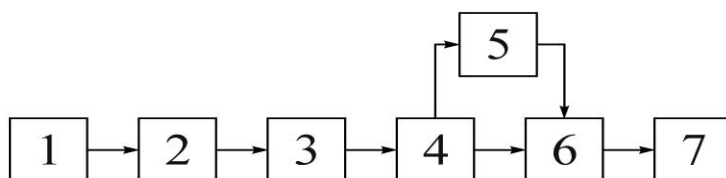


Рис. 2. Структура процесса создания техники нового поколения: 1 – выбор аналитическим центром направлений работы; 2 – научное и экономическое прогнозирование; 3 – прикладные исследования; 4 – конструкторские работы; 5 – капитальное строительство; 6, 7 – подготовка и освоение регулярного производства

Следует подчеркнуть, что копирование даже передовых зарубежных разработок неминуемо приводит к техническому отставанию. Только изучение тенденций развития техники и упреждающий выход вперед позволяет создавать высокоэффективную технику, не имеющую аналогов за рубежом.

Для определения потребного количества новой техники, возможностей ее продажи в другие страны, влияния на развитие других отраслей промышленности, объемов затрат на ее разработку и освоение, сроков окупаемости затрат необходимо научно-экономическое прогнозирование.

При положительном прогнозе выполняют прикладные научно-исследовательские работы, в результате которых создают экспериментальные установки, определяют основные параметры новой техники и разрабатывают техническое задание для проектирования нового изделия.

В ходе проведения конструкторских проектов разрабатывают техническую документацию для организации промышленного производства нового изделия. Если потребность в новых видах техники большая, а на существующих предприятиях нет возможности организовать ее выпуск, то необходимо капитальное строительство с введением новых производственных мощностей.

Подготовка регулярного производства включает комплекс конструкторских, технологических и организационных работ, связанных с переходом предприятия на массовый или серийный выпуск нового изделия. На этой стадии осуществляют корректировку конструкторской документации применительно к конкретным производственным условиям, разработку технологических процессов, проектирование и изготовление оснастки и инструмента, решение организационных вопросов и др. При необходимости выполняют производственные исследования, связанные с улучшением качества, экономичности и надежности новых изделий.

Освоение регулярного производства – завершающая стадия создания новой техники. Она включает работы, направленные на обеспечение данным предприятием ритмичного выпуска новых изделий с заданными технико-экономическими показателями.

Таким образом, создание новой техники – сложный процесс, требующий вложения больших финансовых средств, высокого уровня развития науки и техники и наличия высококвалифицированных творческих людей. Последнее связано с повышением качества высшего образования и как материального (вознаграждение, соответствующее творческим успехам), так и морального (почет и уважение в обществе) социального стимулирования.

По мнению авторов, поколения новой техники, технологии, средств контроля и управления могут быть реализованы в лесопилении при создании гибких автоматизированных лесопильных линий на базе ленточнопильных станков. С помощью этих линий можно решать вопросы не только получения пиломатериалов высокого качества при минимальном расходе энергии и сырья, но упростить и удешевить работы на складах сырья и пиломатериалов. При создании таких линий необходимо решить следующие основные вопросы.

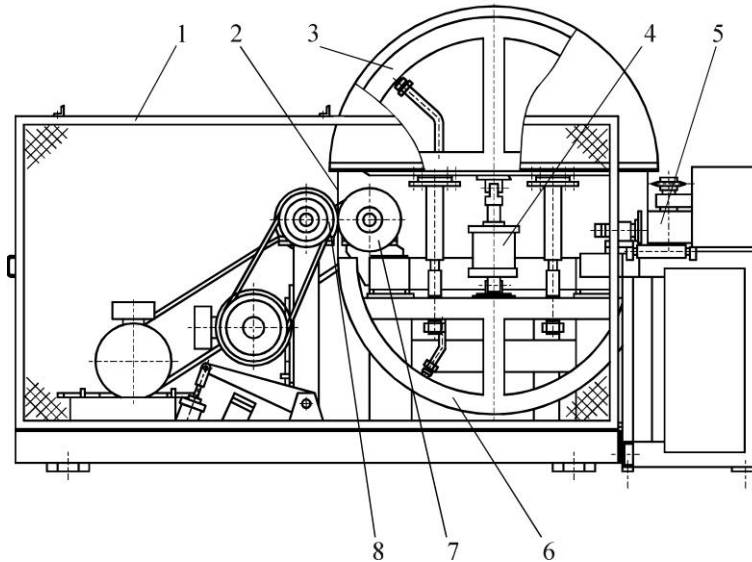


Рис. 3. Ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим: 1 – ограждение; 2 – пила; 3 – верхняя криволинейная аэроэстатическая направляющая; 4 – механизм натяжения пилы; 5 – механизм подачи; 6 – нижняя криволинейная аэроэстатическая направляющая; 7, 8 – приводные фрикционные колеса

1. Создать однопильные ленточнопильные модули, обеспечивающие высокую точность пиления, большую долговечность пил, имеющих малые габаритные размеры и металлоемкость. К таким модулям можно отнести станок с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим. Конструкция его показана на рис. 3, а описание и обоснование параметров приведено в работе [3].

2. Для ленточнопильных станков нового типа, обеспечивающих высокую долговечность пил, создать специальные ленточные пилы (повышенной ширины при малой толщине) с зубьями, оснащенными твердыми и сверхтвердыми материалами. Для подготовки и ремонта таких пил создать централизованные инструментальные мастерские, оснащенные современными станками.

3. Создать средства позиционирования однопильных модулей, обладающие высокой точностью и быстродействием, и механизм подачи с торцовыми захватами бревен и предварительной ориентацией бревен относительно ленточнопильных модулей.

4. Создать и наладить производство технических средств, автоматически определяющих основные геометрические характеристики поступающего на распиловку сырья и передающих полученную информацию компьютеру.

5. Разработать программы для выбора схемы раскроя и позиционирования ленточнопильных модулей для получения максимального (объемного, спецификационного, ценностного, посортного) выхода пиломатериалов с учетом геометрических характеристик поступающего на распиловку пиловочного сырья.

6. Разработать средства автоматического контроля качества получаемых пиломатериалов для выбора оптимальных режимов пиления.

Решение поставленных вопросов позволит избежать отставания нашей лесопильной промышленности от стран, использующих высокие технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев Г.Ф., Дундин Н.И. Направления повышения эффективности переработки древесины на лесопильном оборудовании // Деревообаб. пром-сть. – 2000. – № 6. – С. 5–8.

2. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины на лесопильных рамах и ленточных станках // Деревообаб. пром-сть. – 1990. – № 6. – С. 6–10.

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

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 17.11.03

G.F. Prokofjev, N.I. Dundin

Main Directions of Woodworking Intensification on Sawmill Equipment

Main directions of woodworking intensification on sawmill equipment are considered.

УДК 674.093

И.И. Иванкин

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ПОСТАВОВ И ВЫХОДОВ ПИЛОПРОДУКЦИИ*

Приведено описание программы для расчета поставов и выхода пилопродукции при распиловке пиловочного сырья с учетом различных факторов.

Ключевые слова: постав, способ раскроя, выход пилопродукции.

Вопросы рационального использования древесины имеют большое значение для лесопиления. Баланс продукции, получаемой из древесины при пилении, складывается из пиломатериалов, кусковых отходов (щепа), опилок, потерь на усушку и распыл. Выбор и обоснование процесса раскроя определяются экономическими соображениями, в которых основное значение отводится показателям выхода готовой продукции и затратам труда [1]. При выработке пилопродукции необходимо составить последовательность проведения раскроя пиловочного сырья определенных размеров с учетом имеющегося оборудования, заданных размеров пилопродукции, припусков на распиловку и усушку, ширины пропилов. Осуществляется это на основании расчета поставов на раскрой бревен.

Начало теории максимальных поставов было положено в работе советского математика Х.Л. Фельдмана «Система максимальных поставов», опубликованной в периодической печати в 1931 г. и изданной отдельной книгой в 1932 г. [1]. В дальнейшем эту теорию разрабатывали также советские ученые – Д.Ф. Шапиро, Г.Г. Титков, М.Н. Гутерман, В.А. Залгаллер и др. Рациональному использованию древесного сырья посвящены исследования П.П. Аксенова, Н.А. Батина, Г.Д. Власова, Р.Е. Калитеевского, А.Н. Песоцкого, В.С. Ясинского и др.

Соотношение компонентов баланса древесины зависит от характеристики сырья, поступающего на лесозавод (диаметр, длина, сбег, кривизна), а также от условий его подготовки и пиления (применяемые поставы, точность сортировки, настройка постава на сырье, пиление, ориентирование бревна относительно оси постава, ширина пропила и др.) [5]. В силу сложности определения расчетным путем суммарного влияния указанных факторов на рассеивание ширин и длин объемный выход пилопродукции, их величины определяют опытами [1]. Однако такие эксперименты не только трудоемки и дороги, но и недостаточно эффективны [4]. Объясняется это

* Неоценимую помощь в разработке программы оказал проф. Г.Ф. Прокофьев (АГТУ).

тем, что большинство факторов, связанных с характеристиками сырья (сбег, кривизна и др.), являются неуправляемыми. Основной метод обработки экспериментальных данных – регрессионный анализ – плохо приспособлен для таких целей [3, 4].

При раскросе бревен на лесопильном оборудовании возникает необходимость оценить выход пиломатериалов для различных схем (поставов). Известно, что пиломатериалы, щепы и опилки имеют стоимость, различающуюся в несколько раз, поэтому изменение соотношения этих компонентов в балансе расхода древесины оказывает большое влияние на себестоимость продукции и эффективность лесопильного производства [2, 5, 6]. Крупные современные предприятия решают эту задачу за счет использования систем управления, предусматривающих автоматический обмер всех бревен и моделирование их раскроса с выбором оптимального варианта. Для средних и мелких предприятий этот путь пока недоступен, поэтому чаще используют графоаналитический метод или альбомы поставов.

Известные методы теории раскроса пиловочного сырья в большинстве своем базируются на представлении поверхности бревна в виде парабо-

Рабочее окно программы

лоида вращения. При этом за пределы рассмотрения попадает такой порок, как кривизна бревен, которая оказывает большое влияние на объемный выход.

В связи с этим возникла необходимость разработать программу (см. рисунок) для расчета поставов и выхода пилопродукции, цель которой

– учесть влияние на составляющие баланса расхода древесины следующих факторов: способ раскроя (в развал или с брусковкой); вид поставка; диаметр, длина и кривизна бревна*; сбеги бревна (может задаваться пользователем или рассчитываться самой программой в зависимости от вершинного диаметра бревна); точность сортировки бревен по диаметру перед распиловкой; ширина пропила на первом и втором проходах, при обрезке и торцовке; смещение продольной оси бревна относительно оси поставки на первом и втором проходах; смещение центра поля допуска толщины пиломатериалов (припуск на распиловку).

В программе поверхность бревна задают набором элементарных цилиндров высотой 1 мм. Такой подход позволяет значительно упростить математическую модель и в тоже время учесть основные факторы, влияющие на выход пиломатериалов. При заданных исходных данных решается задача получения обрезных пиломатериалов с позиций максимума их объемного выхода.

Программа позволяет рассчитывать четные и нечетные, а также симметричные и несимметричные относительно оси бревна поставка. Результаты расчета помещаются в файл стандартного приложения Microsoft Windows – «Блокнот» и могут быть выведены на принтер.

Программа реализована с помощью системы программирования Delphi 7 фирмы «Borland Software Corporation» и предназначена для работы в операционных системах Microsoft Windows.

Вывод

Разработанная программа расчета поставок является эффективным инструментом для решения целого ряда научных и производственных задач лесопиления: составление планов раскроя пиловочного сырья; прогнозирование и разработка мероприятий по повышению объемного выхода пиломатериалов; анализ влияния различных факторов на объемный выход пиломатериалов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов П.П. Теоретические основы раскроя пиловочного сырья. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – 216 с.
2. Песоцкий А.Н., Ясинский В.С. Рациональное использование древесины в лесопилении. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 128 с.
3. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Исследования процессов деревообработки. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
4. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 296 с.
5. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.

* На момент написания данной статьи автору не было известно о существовании аналогичных программ, учитывающих кривизну бревен, за исключением работ [3, 4].

6. *Турушев В.Г.* Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 208 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 28.03.03

I.I. Ivankin

Programme for Estimating Supply and Output of Sawn Products

The description of programme for estimating supply and output of sawn products when cutting sawn wood taking into account different factors is provided.



УДК 634.093

Ю.А. Варфоломеев, Л.С. Суровцева, А.С. Малашкин

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



Суровцева Любовь Савватьевна родилась в 1944 г., окончила в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 научных трудов в области комплексного, рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.



Малашкин Александр Сергеевич родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры инженерных конструкций и архитектуры АГТУ. Имеет 2 печатные работы в области экономики лесопильных предприятий и исследования биологического поражения древесины.

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОСТАВКИ
ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ НА ЕГО КАЧЕСТВО**

Проанализирована зависимость качественных показателей сырья от условий его транспортировки и хранения на складах.

Ключевые слова: пиловочное сырье, транспортировка сырья, автомобильный, железнодорожный и водный транспорт, качество сырья.

Россия имеет огромные запасы леса. На ее долю приходится 23 % мировых лесных площадей, из них 55 % составляют хвойные породы. По данным Всемирного банка из России в 1985 г. вывезено 337 млн м³, 1990 г. – 304, 1995 г. – 116, 1997 г. – 94, 1998 г. – 82 млн м³ древесины.

В Архангельской области заготовка леса достигала максимума в 1987–1988 гг. – около 25 млн м³, к 1996 г. ее уровень составлял примерно 29 % от уровня 1988 г. С 1990 г. по 1996 г. производство товарного леса снизилось с 19,4 до 7,2 млн м³. Подобная ситуация (снижение заготовки леса) сложилась и в целом по России.

В первую очередь спад производства обусловлен сокращением поставок древесины, которое началось с конца 80-х годов. Он связан с введением запрета молевого сплава по рекам; прекращением государственного кредитования зимних заготовок древесины; прекращением поставок древесины из-за пределов области в результате отказа от плановой системы, приведшего к децентрализации экономики.

В этой ситуации предприятия были вынуждены искать новые схемы поставок древесины.

Нами исследованы транспортные схемы поставок сырья и их влияние на качество продукции.

Для этого был проведен анализ поставок древесины на трех крупных лесопильных предприятиях г. Архангельска. В ходе исследований было установлено, что в настоящее время лесопильные предприятия испытывают дефицит пиловочного сырья для максимальной загрузки производственных мощностей. Для поставок бревен используют разные виды транспорта. В таблице приведены объемы поставок (%) различными видами транспорта на лесопильные предприятия г. Архангельска.

Как видно из таблицы, на всех обследованных предприятиях наиболее высока доля поступления сырья железнодорожным транспортом. Преобладание железнодорожного транспорта объясняется тем, что по сравнению с автомобильным он более вместительный и дешевый. Доли поставок водным и автомобильным транспортом различаются, но незначительно. Наиболее дешевая из них – доставка древесины по воде, но в последнее время реки Архангельской области обмелели, и не всегда имеется возможность поставить лес по воде.

Прибыль предприятия зависит от объема и качества выпускаемой продукции. На качественные показатели древесины влияют следующие факторы: регион поставки, объем одновременной поставки, протяженность транспортировки, погодные условия, период заготовки леса, продолжительность и вид транспортировки.

На рис. 1 представлено изменение качественного состава сырья за 4 года в зависимости от вида транспорта на примере одного из лесопильных предприятий г. Архангельска.

Как видно из рис. 1, наиболее качественное сырье поступает в плотках и на баржах, доля 3-го сорта в них не превышает 10 ... 12 %. Если сравнить водные виды транспорта, то наиболее качественное сырье (1-2 сорт) преобладает в плотках. Доля 3-го сорта в плотках составляет не более 9 %, на

Способ поставки сырья	Лесозавод № 3	Цигломенский лесозавод	Соломбальский ЛДК
Водный	26,13	25,14	34,90
Автомобильный	30,91	21,92	24,83
Железнодорожный	42,96	52,94	40,27

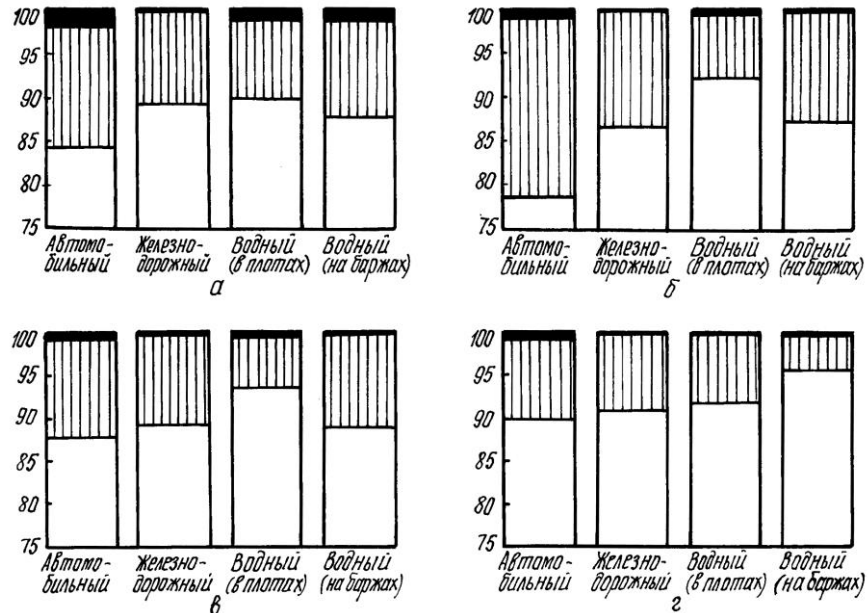


Рис. 1. Качественный состав сырья (%) по годам: а – 1999 г.; б – 2000 г.; в – 2001 г.; г – 2002 г. (□ – дрова; □ – 3-й сорт; □ – 1-2-й сорт)

баржах – до 12,5 %. При сравнении сухопутных видов транспорта установлено, что более качественное сырье поставляют по железной дороге: доля 3-го сорта не превышает 13 %. При поставках автомобильным транспортом доля древесины 3-го сорта доходит до 20 %.

Во всех видах поставок есть низкокачественная древесина, доля которой при поступлении по железной дороге не выше 0,15 %, в плотах и баржах она доходит до 1 %, при поставках автомобильным транспортом – до 2 %.

Анализ данных рис. 1 показал, что качество поставляемого сырья постоянно изменяется. Например, в 1999 г. доля бревен 1-2-го сорта автомобильным транспортом составляла более 84 %, при поставках плотами – до 90 %. В 2000 г. отмечено значительное снижение качества древесины: доля 1-2-го сорта упала до 78 % при использовании автотранспорта, при поставках сырья по железной дороге и на баржах этот показатель так же снизился на 2 ... 3 %. И только в плотах он вырос на 2 %, достигнув 92 %. В 2001 г. ситуация изменилась в сторону улучшения. Доля древесины 1-2-го сорта при поставках автотранспортом увеличилась почти на 10 % (88 %), практически сравнявшись с поставками железнодорожным транспортом и баржами (до 89 %). В плотах древесина 1-2-го сорта составляет 93 %. В 2002 г. этот показатель по всем видам транспорта был выше 90 %, наиболее качественное сырье (доля 1-2-го сорта – 96 %) было поставлено баржами.

Улучшение качества сырья свидетельствует о том, что намечается тенденция его поставок для выработки экспортных пиломатериалов. Если

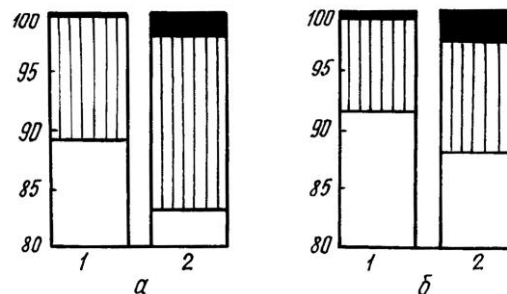
предприятие специализируется на экспорте пиломатериалов, то в соответствии с ГОСТ* древесина 3-го сорта поставляться не должна. Однако в результате неудовлетворительной сортировки древесины на лесозаготовительных и лесосплавных предприятиях на лесопильные заводы, выпускающие экспортную продукцию, попадает сырье 3-го сорта. Несмотря на то, что доля бревен 3-го сорта с годами снижается, но она все равно значительна. Это связано с недостаточностью древесины, поэтому, чтобы загрузить производственные мощности, предприятия готовы пилить бревна любого качества. Кроме того, качество сырья проверяют непосредственно на предприятии, и, если оно не соответствует необходимому уровню, то его принимают по более низкой цене. Однако лесозаготовительная отрасль постепенно выходит из кризиса, увеличиваются поставки сырья. В результате уделяется больше внимания его сортировке, особенно его качеству. И тем не менее сырье 3-го сорта составляет значительную часть, что снижает долю экспортных пиломатериалов в объеме готовой продукции.

На данный момент ситуация на рынке немного улучшилась, но она еще далека от стабильной, поэтому крупные предприятия, стараясь обеспечить себя сырьем на будущее, часто покупают его в большем, чем необходимо, количестве. Это приводит к тому, что оно некоторый период времени лежит на складе, в результате чего снижается его качество, оно переходит в более низкий сорт. Часто наблюдается ситуация, когда нерационально используют сырье, отправляя на распиловку вновь поступившее, а хранящееся на складе передерживают. В результате качество его падает, что приводит к снижению объемов получаемых пиломатериалов и их качества. Изменение сортности сырья при хранении показано на рис. 2, 3.

Как видно из рис. 2, при хранении в межоперационном запасе снижается качество сырья. Доля дров при этом возрастает в среднем в 7–10 раз и достигает 2,0 ... 2,5 %. Доля древесины 3-го сорта увеличивается в среднем на 2 ... 4 %, а доля 1-2-го сорта снижается в среднем на 3 ... 5 %, что в 2001 г. составило 83 %, а в 2002 г. – 88 %.

Анализ данных рис. 3 показывает, что в летние месяцы качество поставляемого сырья снижается: доля древесины 3-го сорта увеличивается до

Рис. 2. Процентное соотношение качества сырья, поступившего на комбинат (1) и отправленного в распиловку (2): а – 2001 г., б – 2002 г. (см. обозначения на рис. 1)



* ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. – Введ. 01.01.90 до 01.01.95. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 16 с.

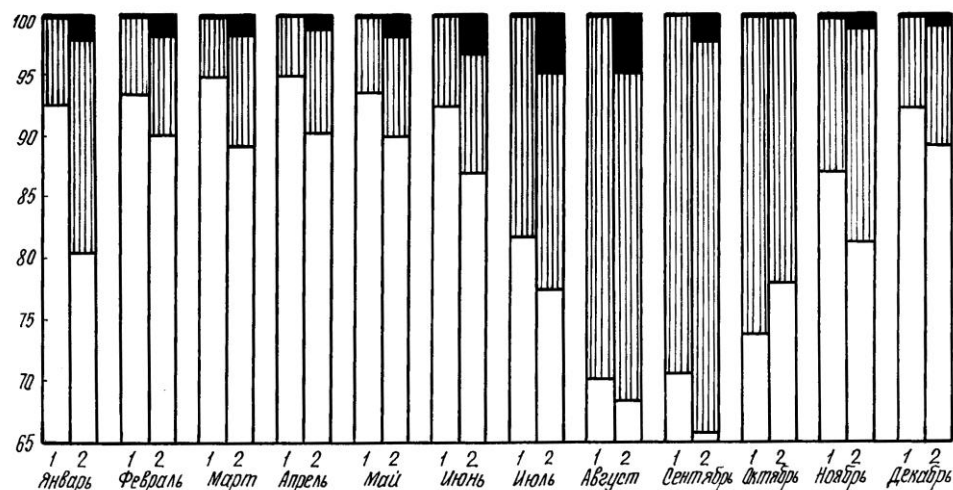


Рис. 3. Изменение сортности сырья (%) при хранении на складе в течение 2001 г.

30 %, в то время как в другие периоды в среднем не превышает 10 %. Для дров отмечена аналогичная тенденция (5 % по сравнению с 2 %). В результате этого доля бревен 1-2-го сорта снижается до 65 %. Следовательно, за время хранения в среднем около 5 ... 10 % сырья переходит в более низкий сорт, что приводит к снижению выхода экспортных пиломатериалов и ухудшению финансовых показателей предприятия.

Так как из сырья 3-го сорта получают пиломатериалы низкого качества, экономически целесообразно распиливать его в районах рубки. При этом снижаются транспортные расходы, что делает производство более рентабельным. Кроме того, при распиловке бревен 3-го сорта возрастает доля отходов и встает проблема их утилизации. В лесу их можно использовать в качестве топлива.

Все это говорит о том, что при нестабильной ситуации с поставками сырья предприятия должны больше внимания уделять его рациональному использованию, обеспечивая как количественную, так и качественную составляющую.

Следовательно, прибыль предприятия зависит от объема и качества выпускаемой пилопродукции, которые напрямую связаны с качеством поставляемого сырья.

Архангельский государственный
технический университет
Поступила 27.10.03

Yu.A. Varfolomeev, L.S. Surovtseva, A.S. Malashkin

Influence of Wood Raw-material Delivery Method on its Quality

Dependence of qualitative characteristics of raw material on transport conditions and its storing in the storages are analyzed.

УДК 674.093.6-412.85

Д.В. Иванов

Иванов Давид Васильевич родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 научных работ в области комплексного использования древесины, создания и совершенствования технологии и техники производства пиломатериалов и подготовки сырья к распиловке.



ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ К РАСПИЛОВКЕ НА СОВРЕМЕННЫХ ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИ- ЯТИЯХ

Рассмотрены вопросы подготовки сырья к распиловке на действующих предприятиях, отмечены преимущества сухопутной сортировки бревен.

Ключевые слова: спецификация, ведущие сечения, бассейны, дробность сортировки, сухопутная сортировочная линия.

Одним из наиболее трудоемких, но недостаточно механизированных и опасных участков производственного процесса лесопильных предприятий являются склады пиловочного сырья. На них занято около 30 % всех работающих, уровень механизации составляет лишь 20 ... 30 %.

Основные функции складов: организация своевременной приемки сырья и его выгрузки с минимальными затратами труда и средств; хранение при обеспечении качества сырья; подготовка его к распиловке, которая включает тепловую обработку, окорку, сортировку, распиловку и подборку партий рассортированных бревен в количестве, обеспечивающем бесперебойную работу лесопильных потоков.

Вопросы организации работ на складе и подготовки сырья к распиловке ранее рассмотрены Р.Е. Калитеевским, В.Г. Турушевым, А.П. Брагиным, Ю.А. Зелениным, Ю.Р. Бокщаниным, В.Н. Дружининым, Ю.А. Дьячковым и др.

До настоящего времени на большинстве крупных предприятий сырье к распиловке подготавливают в наливных бассейнах перед лесопильными цехами. Бассейны служат одновременно для оттаивания и накопления распиловочных партий бревен. Использование бассейнов имеет ряд отрицательных сторон. Исследованиями В.Г. Турушева установлено, что ограниченное число дворигов и их небольшие площади (100 ... 150 м²) не позволяют накапливать необходимые объемы древесины и не обеспечивают достаточную дробность сортировки. Тяжелые условия работы приводят к частым заболеваниям рабочих, ошибкам в измерении бревен, их подаче не по поставу, а из-за применения неудачных поставов – к большому количеству тонких досок (до 40 %), перегрузке обрезных станков и, как следствие, к снижению выхода пиломатериалов.

Даже при достаточном количестве дворигов накопление бревен в них идет неравномерно, занимает много времени и вызывает простои потоков. Большие площади водной поверхности требуют значительных затрат на обогрев в зимний период.

Бассейны, объем воды в которых составляет 6 ... 14 тыс. м³ и меняется 10 раз в год, являются источником экологического загрязнения водной среды. Вода бассейнов содержит большое количество вредных веществ: таннидов, нитратов, аммонийного азота, нефтепродуктов, взвешенных веществ в виде коры, сухого остатка. Биохимическая потребность этой воды в кислороде составляет от 0,11 до 1,28 т/год. За загрязнение природной среды предприятия отчисляют штрафы, сумма которых при превышении ПДК увеличивается в 5 раз. Имеющиеся предложения Свердловского ЦНИИМОД и АЛТИ по перекрытию бассейнов крышами, щитами, водными и воздушными завесами позволяют исправить лишь часть отмеченных недостатков.

Критерием оптимальности вариантов сортировки является выход пиломатериалов, который зависит от дробности и точности сортировки, границ групп и распределения бревен по диаметрам.

ЦНИИМОД для районов Европейского Севера рекомендует принимать дробность сортировки $D_p = 8$ для бревен с $d_{cp} = 16 ... 19$ см.

Расчеты показали, что при той же спецификации пиломатериалов выход незначительно возрастает при увеличении дробности сортировки (с 52,92 % при $D_p = 6$ до 53,42 % при $D_p = 14$), а за счет изменения границ сортировочных групп выход пиломатериалов может быть повышен на 1,3 ... 1,5 %.

Поскольку каждому поставу соответствует свой максимум выхода пиломатериалов, то диапазон диаметров в группе определяется исходя из минимума потерь выхода для данного постава. При этом доля группы в общем объеме сырья должна быть достаточной для обеспечения спецификаций пиломатериалов и работы потока на этой группе в течение оперативного периода.

С помощью программы КарНИИЛП «Планирование раскроя пиловочного сырья», где учитывается возможность выполнения заданных спецификаций пиломатериалов, были уточнены границы сортировки сырья при использовании новых поставов для оптимального раскроя: 11,0 ... 13,4; 13,5 ... 16,4; 16,5 ... 19,4; 19,5 ... 21,4; 21,5 ... 23,4; 23,5 ... 25,4; 25,5 ... 27,4; 27,5 ... 29,4; 29,5 ... 33,4; 33,5 см и выше. Несмотря на возможность повышения выхода пиломатериалов еще на 1,4 % применение указанного варианта в производственных условиях вызовет некоторые затруднения, главным образом, из-за необходимости изменения системы учета сырья по четным диаметрам на всех этапах (от лесозаготовки до лесопильного цеха).

По данным FAO ООН выпуск пиломатериалов (соответственно объемы поставки и распиловки сырья) в России в 90-х годах сократился в 2,5–3,0 раза.

Наряду с сокращением объемов поставки сырья на каждое предприятие резко изменилось и соотношение способов его поставки. Так, доля

сырья, поставляемого водным путем, уменьшилась с 90 ... 100 до 30...50 %, в том числе сплавом до 20 ... 35 %. В тоже время возросла доля, приходящаяся на сухопутный транспорт: железнодорожный – до 36 ... 54 %, автомобильный – до 11 ... 27 %.

Уменьшение объемов и изменение способов поставки сырья (увеличение доли более равномерной сухопутной поставки) приводят к сокращению объемов долговременных запасов и изменению организации и оборудования участков выгрузки-хранения и подготовки сырья к обработке; уменьшению количества и объемов штабелей зимнего запаса; сокращению потребности в тяжелых большепролетных кранах (кабельных, мостокабельных); возрастанию необходимости в подвижных ПТМ (козловые, башенные краны и погрузчики для разгрузки железнодорожных составов и автотранспорта). Увеличение объемов сухопутной поставки сырья влажностью 40 ... 60 % способствует использованию сухопутных сортировочных линий вместо бассейнов, а также изменению расположения окорочных станций.

Запас сырья на складе должен обеспечивать непрерывную работу линии и лесопильного цеха. Величину запаса определяют как максимальную разницу между нарастающими объемами подачи сырья на склад и его расходом со склада в течение месяца. Расчеты показывают, что при водной поставке запасы на складе составляют 55 ... 60 %, а при сухопутной – 10 ... 11 % от годового объема поступающего сырья.

В связи с вышеперечисленными причинами основным направлением в совершенствовании участка подготовки сырья является переход на сухопутную сортировку бревен. Для этого спроектированы, а на ряде предприятий и внедрены автоматические сортировочные линии отечественного (БС-60, РБ-12, ЛТ-86) и зарубежного (ХК-4000, Лекопа, Интерлог, Сатеко, Шпрингер и др.) производства. Они производят сортировку бревен, движущихся со скоростью от 0,8 до 2,0 м/с, на 12 – 90 мест, оборудованных электрическими или гидравлическими сбрасывателями. Производительность линий составляет 400 ... 1200 бр./ч. Некоторые линии снабжены окорочными станками.

Введение сортировочных линий ставит перед предприятиями следующие новые технологические задачи:

- определение минимального запаса пиловочного сырья перед сортировкой для обеспечения непрерывной работы линии и цеха;

- установление дробности сортировки сырья, необходимой для выполнения заданной спецификации пиломатериалов;

- определение емкости штабелей запаса рассортированного сырья для обеспечения бесперебойной работы лесопильного цеха в течение оперативного периода на заданном сырье.

Основным сортировочным признаком является диаметр бревен, дополнительными – длина, качество и способ их ориентации.

Для выбора вариантов сортировки сырья по группам диаметров и определения ее дробности предложено использовать систему планирования

Определение числа сортiroвочных групп и распределение сырья по ним

Ширина досок, мм	Объем ведущих пиломатериалов		Требуемый диапазон диаметров, см	Диаметр сырья по спецификации, см	Объем сырья, %	
	м ³	%			требуемый по каждому диаметру	общий по группе диаметров
$Ш_1(225)$	$Q_{ПШ_1}$	$D_{ПQШ_1} (8,1)$	$d_{Ш_1}(38...28)$	$d_1(38)$	Q_{d_1}	$\Sigma Q_{d_{Ш_1}} (8,1)$
				$d_2(36)$	Q_{d_2}	
				$d_3(34)$	$Q_{d'_3}$	
$Ш_2(200)$	$Q_{ПШ_2}$	$D_{ПQШ_2} (2,6)$	$d_{Ш_2}(33...25)$	$d_3(34)$	$Q_{d'_3}$	$\Sigma Q_{d_{Ш_2}} (2,6)$
				$d_4(32)$	$Q_{d'_4}$	
$Ш_3(175)$	$Q_{ПШ_3}$	$D_{ПQШ_3} (9,0)$	$d_{Ш_3}(29...22)$	$d_1(32)$	$Q_{d'_4}$	$\Sigma Q_{d_{Ш_3}} (9,0)$
				$d_2(30)$	Q_{d_5}	
				$d_3(28)$	$Q_{d'_6}$	
$Ш_4(150)$	$Q_{ПШ_4}$	$D_{ПQШ_4} (38,9)$	$d_{Ш_4}(25...19)$	$d_1(28)$	$Q_{d'_6}$	$\Sigma Q_{d_{Ш_4}} (38,9)$
				$d_2(26)$	Q_{d_7}	
				$d_3(24)$	Q_{d_8}	
				$d_4(22)$	Q_{d_9}	
$Ш_5(125)$	$Q_{ПШ_5}$	$D_{ПQШ_5} (22,0)$	$d_{Ш_5}(21...16)$	$d_5(20)$	$Q_{d'_10}$	$\Sigma Q_{d_{Ш_5}} (22,0)$
				$d_2(18)$	$Q_{d_{11}}$	
				$d_3(16)$	$Q_{d'_{12}}$	
$Ш_6(100)$	$Q_{ПШ_6}$	$D_{ПQШ_6} (19,4)$	$d_{Ш_6}(17...13)$	$d_1(16)$	$Q_{d'_{12}}$	$\Sigma Q_{d_{Ш_5}} (19,4)$
				$d_2(14)$	$Q_{d_{13}}$	
				$d_3(13)$	$Q_{d_{14}}$	
				$d_4(12)$	$Q_{d_{15}}$	
				$d_4(11)$	$Q_{d_{16}}$	
Итого		100,0		$d_2(10)$	$Q_{d_{17}}$	100,0

раскрыта, разработанную Г.Д. Власовым. Система предполагает определение объема ведущих пиломатериалов и доли в них пиломатериалов определенных ширин (225 ... 100 мм), затем уточнение диаметров бревен ($d = b / (0,6 \dots 0,8)$), из которых возможна выпилка досок заданной ширины (см. таблицу).

Для выпилки досок одной ширины можно использовать бревна нескольких смежных диаметров. Процент бревен, выделяемых для выпи-

ловки досок определенной ширины, должен соответствовать их удельному содержанию в объеме ведущих пиломатериалов:

$$D_{\Pi Q_{ш_i}} = \Sigma Q_{d_{ш_i}} = Q_{d1_{ш_i}} + Q_{d2_{ш_i}} + Q_{d3_{ш_i}}.$$

Сухопутная сортировка позволяет накапливать сырье на суше. Бревна «спорных» диаметров подают в распиловку погрузчиками в соотношениях, необходимых для выполнения спецификаций пиломатериалов.

Моделирование процесса сортировки и распиловки показало, что распиловка сырья на потоках может начинаться только после сортировки в течение двух оперативных периодов. Величина партий запуска должна составлять 1,3 – 2,0 от производительности цеха по распилу сырья, при этом больший коэффициент относится к многопоточным цехам и большей дробности сортировки.

Ориентировочно объем (m^3) партии запуска бревен может быть рассчитан по формуле

$$V_{\text{зап}} = \Pi_{d_{\text{cp}}} D_p,$$

где $\Pi_{d_{\text{cp}}}$ – производительность цеха по распилу сырья при среднем диаметре.

Объем оперативных запасов (m^3) в штабелях сортированных бревен может быть определен как

$$V_{\text{оп}} = 100 D_p + 100;$$

максимальный запас во всех штабелях

$$V_{\text{max}} = 125 D_p + 1000.$$

Применение сухопутных сортировочных линий для бревен позволяет, наряду с улучшением использования сырья на 2,5 ... 2,8 %, регламентировать его подачу для выполнения спецификации, сократить затраты труда в 2 раза, улучшить условия труда, полностью исключить расход тепловой энергии и сброс вредных веществ в водоемы.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 28.11.02

D.V. Ivanov

Preparation of Raw Material for Sawing at Modern Sawmills

The questions of preparing raw material for sawing at operational enterprises are reviewed, advantages of overland log sorting are presented



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 634.0.813.11

Ю.Г. Хабаров

Хабаров Юрий Германович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор химических наук, профессор кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 научных трудов в области химической переработки древесины.



МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИГНИНОВ

Приведены данные о методах определения лигнинов как в лигноцеллюлозных материалах, так и в водных растворах.

Ключевые слова: лигнин, методы качественного и количественного определения.

Задача количественного определения лигнинов имеет важное практическое значение как для технологии переработки древесины, так и при исследовании ее компонентов и оценке содержания лигнинных веществ в сточных водах. К настоящему времени разработано большое число методов анализа, но ни один из них не является универсальным вследствие многообразия видов лигнифицированных материалов, различия не только в породном составе растительных материалов, но и в составе одной и той же породы в зависимости от возраста, района произрастания. По принципу воздействия на лигноцеллюлозный материал методы подразделяют на прямые и косвенные.

В прямых методах лигнин выделяют в виде нерастворимого вещества и взвешивают. При этом необходимо обеспечить полное растворение нелигнинных компонентов и чистоту препарата, предназначенного для взвешивания. Количество осажденного лигнина приравнивают к истинному содержанию. В весовых методах лигнин выделяют с помощью минеральных кислот: серной, соляной – метод Вильштеттера, хлороводородной и $ZnCl_2$ при 45 °С [29], фтороводородной [51], газообразного хлороводорода – метод Круля (обработка влажного лигноцеллюлозного материала), 1 %-й HCl – метод Кенига–Румна (при повышенной температуре и давлении).

Наиболее распространен ставший стандартным сернокислотный метод [18, 24], при разработке которого были выявлены основные причины ошибок. Поэтому для их устранения было предложено большое количество модификаций. При совершенствовании сернокислотного метода используют физико-химические методы анализа, приемы предварительной подготовки

лигноцеллюлозного материала или ускорения отдельных стадий выполнения [7]. Установлено, что предварительное измельчение древесины до 42 ... 60 меш благоприятно сказывается на точности анализа [109].

Модификацией гравиметрического сернокислотного метода является способ определения лигнина с помощью фосфорной [41] или смеси серной и фосфорной кислот [50]. Анализируемый образец должен быть предварительно проэкстрагирован дихлорметаном.

Из органических реагентов для весового определения лигнина можно использовать фенол. Фенольный метод основан на образовании растворимого в спирте фенололигнина при взаимодействии лигноцеллюлозного материала с фенолом в присутствии хлороводородной кислоты. Избыточный фенол удаляют диэтиловым эфиром. О содержании лигнина судят по убыли массы анализируемого образца [32].

При концентрациях более 50 мг/л определение лигнинных веществ в растворах можно проводить гравиметрически после осаждения их с помощью 0,5%-го раствора хлорида триафлавина либо титрованием мутных сред в присутствии смешанного индикатора крезолового красного и тимолсульфоталеина [66]. Коллоидное титрование сурфеном (2-метил-4-амидохиолин-6-карбамид) было использовано для количественного определения лигнина и целлюлозы [101].

В косвенных методах определения лигнин вступает в какую-либо реакцию, протекающую количественно. Вместо лигнина определяют количество образующегося или исчезающего при реакции соединения. Среди косвенных методов можно отметить следующие:

флороглюциновый метод [105] основан на взаимодействии лигнина с водно-спиртовым раствором флороглюцина. При конденсации флороглюцина с лигнином образуется окрашенное соединение с максимумом поглощения при 548 нм;

метод хлорного числа заключается в переводе лигнина в растворимое состояние при нагревании лигноцеллюлозного материала с хлорноватистой кислотой и последующем фотометрическом определении растворенного лигнина [97]; полученные результаты сравнивают с поведением кониферилового спирта. Хлорирование может быть проведено электрохимически в бездиафрагменном электролизере [1]. Для повышения точности анализируемый материал предварительно обрабатывают раствором гидроксида натрия;

фотометрический азотно-кислотный метод заключается в нагревании лигноцеллюлозного материала с 14 %-й азотной кислотой, в результате которого лигнин нитруется, частично гидролизуется и переходит в раствор [62]. Поглощение окрашенного в желтый цвет раствора определяют при 425 нм;

колориметрический метод Фолина–Дениса основан на обработке раствора, содержащего лигнин, раствором фосфорно-вольфрамовой и фосфорно-молибденовой кислот [25, 42]. Завышенные результаты получают в том случае, если в растворе присутствуют окрашенные природные соедине-

ния, низкомолекулярные фенолы, гуминовые вещества, ароматические амины;

определения числа каппа или перманганатного числа основаны на селективном окислении лигнина раствором KMnO_4 в стандартных условиях. Считается, что в этих условиях углеводная часть не окисляется. Однако к настоящему времени получены данные о том, что в результате химических превращений в углеводной части технической целлюлозы появляются структурные фрагменты гексенуроновых кислот, содержащие этиленовые двойные связи, которые легко окисляются перманганатом калия. Это является причиной завышенных результатов определения остаточного лигнина в технической целлюлозе [79]. Экспресс-метод определения числа каппа заключается в обработке целлюлозы 0,02 н. раствором KMnO_4 в кислой среде в течение 3 мин. Определение автоматизировано, в опытной установке расход KMnO_4 определяют спектрофотометрически. Полученные результаты хорошо согласуются с данными стандартного анализа (максимальное отклонение не превышает 2,3 %) [50];

определение содержания метоксильных групп обычно проводят с помощью иодоводородной кислоты [24].

Общий недостаток перечисленных выше методов – они не являются экспрессными.

К косвенным относятся и физико-химические методы, в которых измеряется какой-либо физический показатель, пропорциональный содержанию лигнина.

Развитие спектральных приборов и совершенствование техники спектральных измерений способствовали широкому внедрению спектроскопии для исследования и количественного определения лигнина [15, 19, 69, 74, 75, 78, 84, 88, 91, 106].

Из большого многообразия различных видов спектроскопии наиболее доступны электронная и молекулярная.

При использовании ИК-спектроскопии для аналитической химии лигнина применяют различные подходы. Ароматическая природа лигнинов предопределила выбор из спектра поглощения для количественного анализа полос при 1600 и 1510 см^{-1} , которые относят к скелетным колебаниям ароматического ядра [11, 28]. Вторая из этих полос обладает более стабильным положением и интенсивностью. Эти полосы предложено использовать в качестве внутренних стандартов [17]. На результаты определения отрицательное влияние оказывают функциональные группы пропановых цепей, сопряженные с ароматическим ядром. Поэтому анализируемые препараты рекомендуются восстанавливать боргидридом натрия [94].

Колбоу и Эллефсен [77] применили дифференциальный метод ИК-спектроскопии, основанный на том, что на спектре холоцеллюлозы отсутствует полоса поглощения при 1510 см^{-1} . При выполнении анализа в образец сравнения добавляют известные количества лигнина, добиваясь отсутствия поглощения при 1510 см^{-1} . Этот метод требует достаточно большой точности приготовления искусственных смесей и большого числа определений.

Поглощение при 1510 см^{-1} использовано и при определении лигнина в целлюлозе и бумаге [53, 81].

В качестве внешнего стандарта предложено использовать [53] полосу поглощения при 2070 см^{-1} (NaCNS). Достигнутый нижний минимальный предел определения лигнина составляет 4 %.

Авторами [106] предложен метод определения лигнина с точностью примерно 3 % в древесине ели и бука, а также в целлюлозе, полученной обработкой гидроксидом натрия и гипохлоритом натрия при $25 \dots 160\text{ }^\circ\text{C}$. Измерения проводили в запрессовках KBr при аналитической полосе 1510 см^{-1} . Технология приготовления запрессовок является трудоемкой, выход пригодных для измерений таблеток не высок. В этой связи интересной является работа [107], в ней для записи спектров как в ИК-, так и в УФ-области предложено использовать 1,1,1,3,3,3-гексафторпропанол-2, в котором лигнины хорошо растворимы.

Возможности ИК-спектроскопии для исследования лигноцеллюлозных материалов значительно расширились после появления ИК-Фурье спектрометров. На основе математической обработки 18 пиков поглощения была доказана возможность определять этим методом содержание лигнина, глюкозы и ксилозы [99, 100]. Вычитая из спектра диффузионного отражения небеленой целлюлозы спектр холоцеллюлозы, авторы получали спектр, который был ими отнесен к спектру лигнина. Линейной оказалась зависимость площади полосы поглощения при 1510 см^{-1} от содержания лигнина Класона [40]. На образцах сульфатной целлюлозы Митчел [83] показал, что по данным ИК-Фурье спектрофотометрического анализа щелоков имеется возможность определять число каппа.

Ближнюю ИК-область спектра предложено использовать для количественного определения компонентного состава щелоков [47, 95] и числа каппа [43].

Для количественного определения лигнинов в жидких средах (щелочка и сточные воды) при исследовании процессов делигнификации и оценке качества очистки сточных вод широко применяют электронную спектроскопию в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. Большое количество работ по УФ-спектроскопии лигнина рассмотрено в обзорах и монографиях [13, 14, 26, 30, 37, 46, 72].

Характеристическое УФ-поглощение растворов лигнина открыли Герцог и Гиллмер [63]. Гирер с сотрудниками [57] установили, что основными типами хромофорных и лейкохромофорных систем лигнина являются оксогруппы, этиленовые связи и ароматические ядра. Изучение спектров большого числа препаратов лигнина и модельных соединений позволило доказать ароматическую природу лигнина и выявить связь между поглощением в области $300 \dots 400\text{ нм}$ и наличием в структуре карбонильных групп или сопряженных с бензольным кольцом двойных связей [72]. На типичном спектре лигнина [9, 26] имеются максимумы около 205 и 280 нм , минимум около 260 нм и явно выраженное плечо при 230 нм , положение максимума в области 280 нм определяется типом лигнина [85].

Определение лигнина в целлюлозе, основанное на применении электронной спектроскопии, производят, во-первых, непосредственно измеряя отражение УФ-лучей от отливок целлюлозы, во-вторых, растворяя целлюлозный материал и измеряя УФ-поглощение полученного раствора, в-третьих, обрабатывая целлюлозу каким-либо реагентом, разрушающим или переводящим лигнин в раствор в виде окрашенного соединения. По интенсивности окраски раствора определяют содержание лигнина в целлюлозном материале.

Непосредственное измерение отраженных УФ-лучей от отливок целлюлозы не нашло практического применения в аналитической практике. Однако ультрафиолетовая микроскопия используется при изучении топохимии лигнификации и делигнификации [70, 90].

Для растворения лигноцеллюлозного материала применяются различные растворители. Широко используется концентрированная H_2SO_4 . Для определения лигнина в древесной целлюлозе применяют 76 %-ю H_2SO_4 [80, 109]. Осложнение при выполнении этого анализа состоит в том, что образующиеся в процессе растворения из моносахаридов фурфурол и его производные увеличивают поглощение при 280 нм, искажая результаты анализа. Для снижения погрешности определения предложено после полного растворения образца разбавлять раствор до 60 %. Еще одно осложнение – непостоянство поглощения в анализируемой области спектра производных фурфурола [68, 88, 103] и при 200 нм, где сильно поглощает лигнин. Хорошую корреляцию удалось выявить между содержанием лигнина и поглощением при 220 нм. Кроме того, при сернокислотном определении часть лигнина из-за растворимости в серной кислоте не определяется. Поэтому для повышения точности анализа применяют косвенные методы, позволяющие учитывать кислоторастворимую часть [92, 97, 104].

В значительной степени подавить процесс образования фурфурола можно в том случае, если для растворения использовать не серную, а 80 %-ю фосфорную кислоту. При этом удастся использовать поглощение при 280 нм [41].

Для того, чтобы избежать длительных гравиметрических измерений при сернокислотном определении лигнина, предложена оригинальная методика [27], в которой лигноцеллюлозный материал предварительно обрабатывают *o*-фенолсульфокислотой и только после этого 72 %-й серной. При этом происходит реакция фенолирования лигнина. Сульфифенолированный лигнин становится растворимым в H_2SO_4 , концентрацию его определяют с помощью УФ-спектроскопии.

В качестве растворителя лигноцеллюлозных материалов можно использовать этилендиаминовый комплекс кадмия – кадоксен [21, 61, 73, 102]. Технология выполнения анализа очень проста. Навеску измельченного целлюлозного материала растворяют в кадоксене и полученный раствор фотометрируют при 280 нм. Этот метод позволяет анализировать как небеленую, так и беленую целлюлозу с содержанием лигнина до 3 %. Исключение составляет целлюлоза, при отбелке которой использовали диоксид хлора. При

неполной растворимости анализируемого образца в кадоксене рекомендуется добавлять NaOH, однако при этом могут происходить реакции окисления, приводящие к искажению получаемых результатов.

Применение кадоксена позволило [55] разработать методику совместного спектрофотометрического определения в целлюлозе лигнина и гексенуроновых кислот.

Создание систем контроля процесса делигнификации на основе физико-химических методов анализа имеет определенный практический интерес, что нашло отражение в значительном числе публикаций.

Завершение варки сульфитной целлюлозы по цвету щелока распространено на сульфит-целлюлозных заводах. Однако цвет щелока не определяет однозначно степень провара, так как зависит от условий варки и содержания не только лигнина, но и других окрашенных компонентов, переходящих при варке в раствор (таннины, продукты разложения фенолов, хиноны и т.д.) [49]. Поэтому ведение варки до заданного цвета не всегда обеспечивает требуемую степень делигнификации целлюлозы [76].

Для построения графика сульфитной варки предложен способ, основанный на измерении оптической плотности варочного раствора при 205 и 280 нм. Хотя выбранные длины волн соответствуют максимумам поглощения лигнина [88], строгая корреляция между измеряемыми параметрами и качеством целлюлозы авторами не установлена. По-видимому, это объясняется присутствием в растворе фурфурола, оксиметилфурфурола и других продуктов распада углеводов, имеющих сопоставимую с лигнином интенсивность поглощения в данной области спектра [15, 74, 75, 78, 91]. Это совпадает с данными Бьерквиста с сотрудниками [44].

Позднее вновь предлагалось использовать поглощение при 278 ... 280 нм для определения лигносульфоновых кислот (ЛСК) в сульфитных щелоках [20], а также лигнина после растворения древесины в уксуснокислом растворе ацетилбромида [71].

При исследовании щелочных варок древесины березы [23] за «остаточный лигнин» была принята сумма нерастворимого и растворимого в гидролизате лигнинов, образующихся при выполнении анализа по методу Класона. В отличие от Браунинга и Бублица [48], которые рекомендовали для определения кислоторастворимой части лигнина измерять поглощение гидролизата при 215 и 280 нм, авторы [29] проводили измерение при 205 и 280 нм. Концентрацию кислоторастворимого лигнина вычисляли по методу Фирордта.

В работах [38, 54] отмечено, что ЛСК имеют при 205 нм более интенсивный, чем при 280 нм максимум поглощения. В последующих работах эти же авторы пришли к выводу, что по сравнению с максимумом при 280 нм максимум при 205 нм в меньшей степени подвержен влиянию продуктов разрушения углеводов и может дать более точную информацию при контроле за делигнификацией. На основе этого был разработан способ сульфитной варки с переменным графиком, определяемым оптической плотностью при 205 нм. Однако при этой длине волны с большими коэффи-

циентами молярного погашения поглощают альдегиды и органические кислоты, образующиеся при сульфитной варке.

Шёнинг и Юханссон [98], также исследовавшие коротковолновую область в спектрах сульфитных щелоков, нашли, что в начале процесса, когда в щелоке содержится еще мало лигнина, максимум поглощения в области 196 нм обусловлен присутствием SO_2 . С течением варки концентрация SO_2 снижается и максимум поглощения смещается в сторону больших длин волн. В конце процесса длина волны максимального поглощения становится постоянной и составляет при варке еловой древесины 204 нм.

Шёстрём и Хэглунд [103] отмечали, что даже в конце сульфитной и нейтрально-сульфитной варок SO_2 вносит значительный вклад в поглощение при 205 нм, поэтому погрешность результатов определения достигает 20 ... 25 %.

Метод, который позволяет избежать влияния нелигнинных компонентов на поглощение лигнинов в УФ-области спектра, состоит в предварительном осаждении лигнина с помощью полиэтиленimina. Затем осадок отделяют от раствора, растворяют его в щелочи и измеряют поглощение при 280 нм [59].

Мешающее влияние SO_2 и сульфит ионов для УФ-спектроскопии при 202 и 280 нм можно устранить, обработав анализируемый раствор формальдегидом. Для учета влияния фурфурола, тиосульфата и политионатов автор [36] предлагает дополнительно измерять поглощение при 215 нм и использовать методы анализа многокомпонентных смесей.

В работе [96] для определения концентрации ЛСК в отработанном щелоке использовано поглощение при 230 нм. Для непрерывной записи поглощения варочного раствора создан специальный прибор [108].

На примере сульфатных щелоков выявлено, что между количеством растворенного лигнина и поглощением при 205 нм существует линейная зависимость с коэффициентом парной корреляции 0,961 [45].

Гермер, Бутко, Майорова [8] предложили способ определения степени делигнификации при кислородно-щелочной варке путем облучения целлюлозы светом с длиной волны 270 ... 282 нм. Степень делигнификации оценивали по зависимости $t(K) = f(D_1/D_2)$, где K – степень делигнификации древесного остатка; D_1 – экстинкция в максимуме поглощения при 270 ... 282 нм; D_2 – экстинкция при 260 нм.

В ФРГ [52] разработан способ точного регулирования вязкости сульфитной целлюлозы в конце варки. Для этого предварительно определяют степень изменения поглощения щелока, необходимую для достижения определенной вязкости целлюлозы в области начальных соотношений связанного SO_2 и древесины. Затем во время варки находят массовое соотношение связанного SO_2 и древесины по степени изменения поглощения щелока и устанавливают параметр варки в соответствии с заранее определенными степенями изменения поглощения.

В США разработан метод и создан прибор для автоматического контроля варки [64]. В основу метода положена реакция хлорирования лигно-

целлюлозного материала, которая проводится при повышенной температуре в течение относительно небольшого периода времени. Затем измеряют разницу в отражении образца массы из котла при двух заранее определенных длинах волн.

Так как прямые измерения оптической плотности не дали возможности с хорошей точностью прогнозировать степень делигнификации сульфитной целлюлозы, то были предприняты попытки улучшить прогностические возможности спектральных измерений. Для этого предложено производить измерение оптической плотности сульфитных щелоков при различных длинах волн и в различные периоды варочного процесса и связывать полученные данные с качественными показателями целлюлозы [4, 5]. В условиях производственных испытаний этим авторам удалось достичь высокой точности прогноза степени делигнификации (2 ... 3 °Бе).

Цветные реакции очень удобны для разработки методов качественного и количественного анализа с помощью простых и дешевых приборов – фотоколориметров. Требования, которым должна удовлетворять цветная реакция: количественность, чувствительность, воспроизводимость результатов определения.

Как полимер ароматической природы, имеющий в своей структуре различные функциональные группы, лигнин вступает в многочисленные цветные реакции, которые по большей части используются для качественного анализа, в том числе и для определения его в природном состоянии [67, 86]. Известно большое число неорганических (азотистая и азотная кислоты, реактивы Миллона и Несслера, реакция Мейля с KMnO_4 , реакция Кросса и Бивана с $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, реакции с соединениями кобальта, ванадия) и органических (первичные и вторичные амины, фенолы и нафтолы, соли диазония, арилгидразины) реагентов, взаимодействуя с которыми лигнин образует окрашенные соединения. Интенсивность и характер окраски определяются типом лигнина.

Большинство лигнинов в той или иной степени окрашены. Собственная окраска природных и технических лигнинов определяется особенностями электронной структуры макромолекул, наличием хромофоров [35, 58, 87]. В технических лигнинах хромофорные группы генерируются в химических процессах, протекающих при переработке лигноцеллюлозных материалов [60].

Вклад конифериловых структур в поглощение лигнина при 457 нм оценивается в 10 ... 20 %. Цвет древесной массы в значительной мере определяется α -карбонильными группами, сопряженными с ароматическими ядрами лигнинов [56].

Хелатные металлопирокатехиновые комплексы имеют максимум абсорбции для различных модельных пирокатехиновых производных в области 550 ... 580 нм [82]. Расчеты свидетельствуют о наличии примерно 1 % таких структур в лигнине молотой древесины. В темноокрашенной древесной массе пирокатехиновых структур больше, и они, образуя комплексные

соединения с катионами железа, марганца, меди и др., во многом определяют окраску [58].

Стабильные свободные радикалы, образующиеся в результате автоокисления, облучения УФ- и видимым светом, металлокатализируемого окисления, ферментативных процессов, в водных щелочных растворах имеют максимум поглощения около 400 нм.

Хинонметиды являются интермедиатами в процессах дегидрополимеризации. В процессе окислительного деметилирования лигнинов образуются *орто*- и *пара*-хиноидные структуры. Простые хиноидные структуры очень чувствительны к действию различных факторов. В лигнинах хиноидные структуры стабилизированы пространственными факторами. Вклад *о*-хинонных структур в абсорбцию лигнина при 457 нм оценивают в 30 ... 65 %.

Собственная окраска лигнина для количественного анализа практически не используется. Чаще применяют цветные реакции с какими-либо цветореагентами. Несмотря на огромное количество цветных реакций лигнинных веществ в количественной фотоколориметрии их используют всего несколько. Наиболее распространенным методом фотометрического определения ЛСК является нитрозирование по Пирлу–Бенсону [89]. Определению мешают присутствующие в растворе фенолы и амины. Для устранения этого рекомендуется производить предварительную экстракцию [31].

Мешающее влияние фенолов в методе Пирла–Бенсона авторы [16] предлагают устранять, окисляя лигносульфонаты в щелочной среде, а концентрацию ЛСК находить по содержанию образующегося при окислении ванилина, который определяют или спектрофотометрически при 346 нм, или колориметрически с тиобарбитуровой кислотой, или хроматографически.

Можно констатировать, что нитрозирование по Пирлу–Бенсону один из наиболее популярных методов определения ЛСК [39]. В работе [93] проведено его сравнение с УФ-спектроскопией при 205, 230 и 280 нм. Рекомендуемой областью фотометрического определения нитрозированных ЛСК является 420 ... 500 нм, так как измеряемая оптическая плотность не зависит от количества нитрозирующих реагентов. На результаты определения ЛСК оказывают сильное влияние катионы Fe^{2+} и Fe^{3+} [33]. Погрешность анализа может достигать весьма значительной величины (63 %). Метод Фирордта позволил уменьшить погрешность ЛСК до 2,9 %.

Реакцию хлорирования ЛСК хлорной водой (рН 6,5 ... 7,5; продолжительность обработки 15 мин) использовали для фотометрического определения при 425 нм [25].

Колориметрическое определение ЛСК с помощью фосфорновольфрамово-молибденовой кислоты основано на реакции окисления [31], в ходе которой цветореагент восстанавливается и приобретает синюю окраску (700 нм). Для устранения мешающего влияния низкомолекулярных фенолов и аминов анализируемый образец предварительно экстрагируют этилацетатом.

Вместо метода Пирла–Бенсона для определения содержания ЛСК в живице, при выделении которой использовали ЛСК, Масленников с сотрудниками [2] предложили фотометрический метод, основанный на измерении оптической плотности (при 410 ... 450 нм) раствора, обработанного в течение 30 мин водорастворимыми солями серебра. Предлагаемый метод позволяет определять до 0,02 % ЛСК (в пересчете на сухое вещество) с относительной статистической ошибкой менее 15 %.

Еще один фотометрический метод [6] основан на известной цветной реакции фенолов с раствором FeCl_3 [22], которую предложено проводить в присутствии H_2O_2 . Результаты определения ЛСК в щелоках от сульфитной варки, отобранных на различных стадиях процесса, по методу нитрозирования совпадают с полученными по методу автора.

Феррицианидный фотометрический метод определения концентрации сульфатного лигнина в щелоках и сточных водах основан на образовании окрашенного комплекса при взаимодействии с феррицианидом калия в слабощелочной среде [3]. Расчетная чувствительность метода 5 ... 7 мг/л.

На основании сравнения методов количественного определения ЛСК авторы [16] считают, что наиболее достоверным является ванилиновый метод [65].

Непостоянство коэффициентов экстинкции лигнинных веществ, присутствие в анализируемых растворах, кроме лигнинных, и других соединений в значительной мере усложняют определение лигнинных веществ. Это касается не только технологических растворов, но и природных вод. Поэтому предприняты попытки каким-то образом устранить эти трудности.

Использование методов матричной алгебры при анализе многокомпонентных систем в некоторых случаях позволяет определять содержание компонентов без их выделения, что уменьшает погрешность анализа. Один из них – метод Фирордта [12] – основан на решении системы линейных уравнений, связывающих концентрации компонентов смеси и оптические плотности растворов при использовании различных методов анализа. Метод Фирордта применим в том случае, если для определяемых веществ выполняется закон Ламберта–Бера–Бугера и получаемая система имеет решение.

Сточные воды целлюлозно-бумажных комбинатов представляют собой очень сложные многокомпонентные объекты. Поэтому применение фотометрических методов для определения концентрации лигнинных веществ в них требует предварительной оценки влияния на результаты анализа нелигнинных компонентов [34]. При сравнении методов Пирла–Бенсона, УФ-спектроскопии при 280 нм и феррицианидного были вычислены коэффициенты экстинкции для сульфатного лигнина, выделенного из производственных черных щелоков Соломбальского ЦБК, сухих веществ производственных сточных вод Архангельского гидролизного завода и хозяйственно-бытовых сточных вод г. Архангельска. Оказалось, что ни один из методов не является полностью селективным по отношению к сульфатному лигнину.

При прямом фотометрическом определении метод нитрозирования дает совершенно неудовлетворительные результаты, погрешность анализа достигает 250 %. УФ-спектроскопия при 280 нм и феррицианидный метод дают примерно одинаковые результаты, средняя абсолютная погрешность составляет примерно 8 ... 10 %.

Близок к методу Фирордта метод определения ЛСК и природного водорастворимого лигнина, основанный на измерении оптической плотности растворов при 280, 340 и 440 нм [10]. Поглощение при 340 и 440 нм авторы относят к гуминовым кислотам.

Таким образом, в силу объективных и практически неустраняемых причин не существует идеального метода определения лигнинных соединений как в твердых, так и жидких средах. Применяемые методы должны быть адаптированы к конкретным объектам анализа. Они предполагают использование усредненных образцов лигнинных соединений и подбор условий их определения по выбранной методике. Снизить влияние структурных факторов на результаты определения лигнинных веществ можно было бы при наличии способа деполимеризации лигнинов до низкомолекулярных соединений с определением структуры фенилпропановых единиц или их функциональных производных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1366570 СССР, МКИ⁴ D21C 9/12, 3/18; G01N 27/46. Способ определения содержания лигнина в лигноцеллюлозном материале / В.А. Демин, А.П. Карманов, Е.У. Ипатова, В.Н. Сюткин // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 2. – С. 104.
2. А.с. 493711 СССР, МКИ¹ G01N 21/24. Способ количественного определения лигносульфовых кислот в живице / А.С. Масленников, Т.П. Табачкова, Т.В. Корнева, В.Д. Спирина // Открытия. Изобретения. – 1975. – № 44. – С. 105.
3. А.с. 580265 СССР, МКИ² D21C 3/02; G01J 3/00. Способ определения лигнина в растворах химической переработки целлюлозосодержащих материалов / Ю.Г. Хабаров, Е.В. Новожилов, Г.Ф. Прокшин, И.М. Боховкин // Открытия. Изобретения. – 1977. – № 42. – С. 72.
4. А.с. 636309 СССР, МКИ² D21C 7/12. Способ определения жесткости целлюлозы при сульфитной варке древесины / В.Г. Крунчак, А.Г. Родичев, В.П. Петров и др. // Открытия. Изобретения. – 1978. – № 45. – С. 101.
5. А.с. 732428 СССР, МКИ² D21C 7/12. Способ контроля варки сульфитной целлюлозы с заданной степенью делигнификации / К.Г. Боголицын, И.М. Боховкин, Г.Ф. Прокшин и др. // Открытия. Изобретения. – 1980. – № 17. – С. 126.
6. А.с. 742775 СССР, МКИ² G01N 21/24. Способ количественного определения лигносульфонатов в отработанных жидкостях сульфит-целлюлозного производства / Ю.Г. Хабаров, Е.В. Новожилов, Г.Ф. Прокшин, И.М. Боховкин // Открытия. Изобретения. – 1980. – № 23. – С. 214.
7. А.с. 819624 СССР, МКИ³ G01N 5/04. Способ количественного определения лигнина в древесном сырье / Л.Н. Чеснокова, Е.Д. Гельфанд // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 13. – С. 178.

8. А.с. 848515 СССР, МКИ³ D21C 7/12. Способ определения степени делигнификации древесного остатка в процессе кислородно-щелочной варки целлюлозы / Э.И. Гермер, Ю.Г. Бутко, И.Д. Майорова // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 27. – С. 86.

9. *Арзамасцев А.П., Яскина Д.С.* Ультрафиолетовые и инфракрасные спектры лекарственных веществ. – М.: Химия, 1975. – 151 с.

10. *Ауниный Э.А., Тупурейне А.Д.* Лигносультфонаты и природный водорастворимый лигнин в воде р. Лиелупе // Химия древесины. – 1975. – № 6. – С. 91–97.

11. *Беллами К.* Инфракрасные спектры сложных молекул. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 444 с.

12. *Берштейн И.Я., Каминский Ю.Л.* Спектрофотометрический анализ в органической химии. – Л.: Химия, 1975. – 232 с.

13. *Боголицын К.Г., Хабаров Ю.Г.* УФ-спектроскопия лигнина // Химия древесины. – 1985. – № 6. – С. 3–29.

14. *Браунс Ф.Е., Браунс Д.А.* Химия лигнина / Пер. с англ. под ред. М.И. Чудакова. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 864 с.

15. *Вистлер Р.Л.* Методы исследования углеводов / Пер. с англ. В.А. Несмеянова. – М.: Химия, 1975. – 73 с.

16. *Ганин Г.И., Каплин В.Т.* Сравнение методов количественного определения лигносультфонатов кислот и их соединений в природных водах (обзор литературы) // Гидрохимические материалы. – 1984. – Т. ХС. – С. 89–100.

17. *Глазырина Л.С.* и др. Инфракрасные спектры продуктов поликонденсации фенола и формальдегида с участием древесины / Л.С. Глазырина, Н.М. Волошинская, Б.К. Красноселов, В.А. Котельников // Тр. УЛТИ. – 1966. – Вып. 19. – С. 166–179.

18. ГОСТ 11960–79. Полуфабрикаты волокнистые и сырье из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения содержания лигнина. – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.

19. *Заликман П.И.* и др. Исследование методом ИК-спектроскопии изменения содержания лигнина в целлюлозе в процессе кислородно-щелочного облагораживания / П.И. Заликман, И.Ю. Левдик, Л.Г. Давидовская, Г.Л. Аким // Химия древесины. – 1984. – № 4. – С. 35–37.

20. *Зимницкая В.П., Никитин В.М.* УФ-спектроскопический контроль процесса сульфитной варки // Бум. пром-сть. – 1971. – № 11. – С. 26–27.

21. *Иванов М.А., Титкова Т.А., Кирюшина М.Ф.* Оптические свойства растворов лигнина, целлюлозы и ксилана в кадоксене в ультрафиолетовой области спектра // Тр. ВНИИБ. – 1969. – Вып. 55. – С. 4–10.

22. Идентификация органических соединений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 704 с.

23. *Кирюшина М.Ф., Репило Е.Д., Чиркин Г.С.* Об устойчивости фенил-β-D-глюкопиранозидов в щелочных растворах гидразина и боргидрида натрия // Химия древесины. – 1977. – № 5. – С. 46–52.

24. *Комаров Ф.П.* Руководство к лабораторным работам по химии древесины и целлюлозы. – Л.: Гослестехиздат, 1934. – С. 57.

25. *Лейте В.* Определение органических загрязнений питьевой, природных и сточных вод. – М.: Химия, 1975. – 200 с.

26. Лигнины / Под ред. К.В. Сарканена, К.Х. Людвиг. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 632 с.

27. *Накадзима К., Хатихама Й.* Использование *o*-фенолсульфокислоты для определения содержания лигнина в древесине хвойных пород и небеленых целлюлозах // Коге кагаку дзасси, J., Chem. Japan Industr. Soc. – 1964. – Vol.67, N 5. – P. 838–842 (РЖХ, 1964, реферат 24С272).
28. *Наканиси К.* Инфракрасные спектры и строение органических соединений – М.: Мир, 1965. – 242 с.
29. *Попов И.Д.* Върху методиката за количествено определяне на лигнина // Изв. Ин-та Биол. Бълг. АН. – 1957. – Vol. 7. – P. 149–154.
30. *Резников В.М.* и др. Ультрафиолетовые спектры конденсированных лигнинов / В.М. Резников, Г.В. Свидерик, В.Л. Ледникова, Г.Д. Понуров // Журнал прикладной химии. – 1963. – Т. 36, № 6. – С. 1314–1322.
31. Унифицированные методы исследования качества воды. Ч.1. Методы химического анализа вод. – 3-е изд. – М., 1977. – 832 с.
32. *Фукс В.* Химия лигнина / Пер. А.С. Берилло, С.И. Богданова, В.А. Грабовского, М.Ф. Мартынова. – Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1936. – 368 с.
33. *Хабаров Ю.Г., Камакина Н.Д., Мансимов А.Э.* Влияние катионов железа на определение концентрации лигносульфоновых кислот / АГТУ. – Архангельск, 1998. – 13 с. – Деп. в ВИНТИ 05.10.98, № 2929-В98.
34. *Хабаров Ю.Г., Пальмова С.Б.* Оценка влияния хозяйственных сточных вод и промстоков гидролизного завода на определение концентрации сульфатного лигнина / АЛТИ. – Архангельск, 1986. – 7 с. – Деп. в ОНИИТЭХИМ 31.07.86, № 943-ХП-86.
35. *Чудаков М.И.* Хромофоры компонентов древесины (обзор) // Химия древесины. – 1978. – № 2. – С. 3–16.
36. *Augustin H., Helmke D.* Eignung der UV-Absorptionsmessung von Sulfitablaugen zur Aufschlusskontrolle. Teil 1. Einfluss von Nichtligninbestandteilen der Ablaugen // Papier (BRD). – 1975. – Bd. 29, N 9. – S. 398–404.
37. *Aulin-Erdtman G.* Ultraviolet spectroscopy of lignin and lignin derivatives // TAPPI. – 1949. – Vol. 32. – P. 160–166.
38. *Aulin-Erdtman G. et al.* Einige Überlegungen und Modellversuche zur Sulfittierung des Lignins / G. Aulin-Erdtman, K.J. Bjorkman, H. Erdtman, S.E. Hagglund // Svensk Papperstidn. – 1947. – Vol. 50, N 11B. – S. 81–86.
39. *Barnes C.A. et al.* A standardized Pearl-Benson or nitrosomethod recommended for estimation of spent sulfite waste liquor concentration in waters / C.A. Barnes, B.F. Hrutford, A. Livingston et al. // TAPPI. – 1963. – Vol. 46, N 6. – P. 347–351.
40. *Bereben S.A. et al.* Estimation of lignin in wood pulp by diffuse reflectance Fourier-transform infrared spectrometry / S.A. Bereben, J.P. Rademacher, L.O. Sell, D.B. Easty // TAPPI. – 1987. – Vol. 70, N 11. – P. 129–133.
41. *Bethge P.O., Gran G., Ohlsson K.-E.* Determination of lignin in chemical wood pulp // Svensk Papperstidn. – 1952. – Vol. 55, N 2. – P. 44–48.
42. *Bilikova A., Bilik V.* Specificke stanovenie ligninovyh latok vo vodach s kyselinou volframolybdatoforecnou // Vysk. Pr. Odboru Pap. a Celul. – 1973. – Vol. 18. – S. 54–56.
43. *Birkett M.D., Gambino M.J.T.* Estimation of kappa number with near-infrared spectroscopy// TAPPI. – 1989. – Vol. 72, N 9. – P. 193–197.
44. *Bjorquist K.J., Gustafsson S., Jorgensen L.* The removal of lignin and carbohydrates during bleaching of semichemical pulps // Pulp Paper Mag. Canada. – 1954. – Vol. 55, N 2. – P. 68–72.

45. *Bobler W.D., Poniatowaki S.E., Walkjnehew J.W.* Establishment of ultraviolet absorption analysis at 2050 Å as a viable indicator of delignification rate // TAPPI. – 1981. – Vol. 64, N 10. – P. 122–123.
46. *Brauns P.E.* The chemistry of lignin. – N.Y., 1952. – 536 с.
47. *Brimmer P.J.* Application of near-infrared spectroscopy for the analysis of pulp and paper // Pittsburgh Conf. And Expo. Anal. Chem. And Appl. Spectrsc., New York N.Y. Marsh 5-9, 1990: Abstr. Pap. – N. Y., 1990. – P. 442 (РЖХ, 1991, 2Г408).
48. *Browning B.L., Bublitz L.O.* The isolation of holocellulose from wood // TAPPI. – 1953. – Vol. 36, N 10. – P. 452–458.
49. *Budin D.* Karakteristika lignina v odvisnosti od postopka delignifikacije // Nova Proizv. – 1974. – Vol. 25, N 1–2. – P. 29–38.
50. *Chai X.S., Zhu J.Y.* Rapid and direct pulp Kappa number determination using spectrophotometry // J. Pulp and Pap. Sci. – 1999. – Vol. 25, N 11. – P. 387–395.
51. *Clark I.T.* Determination of lignin by hydrofluoric acid // TAPPI. – 1962. – Vol. 45, N4. – P. 310–314.
52. *Conca R.J., Gray J.P., Sloan T.H.* Verfahren zur Reaching der Instrinsic-Viskositat von Sulfit-Zellstoff (Pat. 2648896BRD) // Изобретения за рубежом. – 1977. – № 9.
53. *Cretu L., Gottesman B.* Determination continutului in lignina prin spectrofotometrie de absorbtie infrarosu // Cellul. Sihirtie. – 1970. – Vol. 19, N 5. – P. 165–169.
54. *Erdtman H.* Untersuchungen uber schwefelarme Ligninsulfonsauren // Svensk papperstidn. – 1945. – Vol. 48, N 2. – P. 75–81.
55. *Evtuguin D.V., Daniel A.I.D., Pascoal N.C.* Determination of hexenuronic acid and residual lignin in pulps by UV spectroscopy in cadoxen solutions // J. Pulp and Pap. Sci. – 2002. – Vol. 28, N 6. – P. 189–192.
56. *Fleury R.A., Rapson W.H.* The contribution of alpha-carbonyl compounds to the color of groundwood // Pulp and Paper Magazine of Canada. – 1969. – N 12. – P. 84–94.
57. *Gierer J., Norrstrom H., Stockman L.* Warum sind Holz und Zeilstoff gefarbt // Papier. – 1973. – Jg. 27, H.10. – S. 469–474.
58. *Groon I., Swan B.* A study of the lignin chromophoric groups in semichemical spruce bisulphite pulps // Svensk Papperstidn. – 1963. – Vol. 66, N 20. – P. 812–821.
59. *Haars A., Lohner S., Huttermann A.* Quantitative determination of lignosulfonates from sulfite spent liquors using precipitation with polyethyleneimine // Holzfor-schung. – 1981. – Bd.35, H. 2. – S. 59–65.
60. *Heitnev G., Bolker H.I., Jones H.G.* How chromophores are generated by alkaline treatment of wood // Pulp and Pap. Can. – 1975. – Vol. 76, N 8. – P. 80–84.
61. *Henley D.* The Cellulose solvent cadoxen, a preparation and a viskosimetric relationship with cupriethyldiamine // Svensk Papperstidn. – 1960. – Vol. 63, N 5. – P. 143–146.
62. *Henriksen A., Kesler R.B.* The Nu-number, a measure of lignin in pulp // TAPPI. – 1970. – Vol. 53, N 6. – P. 1131–1140.
63. *Herzog R.O., Hillmer A.* Das ultraviolette Absorptionspectrum des Lignins. 1. // Chem. Ber. – 1927. – Jg. 60, N 2. – S. 365–366.
64. *Hisled J.A. at al.* Method and apparatus for chromatic control of pulping process / J.A. Hisled, W.A. Lawford, M.J. McLeod et al. (Pat. 3764463 USA) // Изобретения за рубежом. – 1973. – № 20.

65. *Hrutfjord B.F., Jone P.Y., McCarthy J.L.* Spent sulfite liquor. XIII. The vanillin method for estimation of concentration of spent sulfite liquor in waters // TAPPI. – 1970. – Vol. 53, N 9. – P. 1746–1749.
66. *Huhn W.* Quantitative Bestimmung von Calciumlignosulfonat in Flusswasser // Fortschr. Wasserchem. – 1964. – Bd.1. – S. 95–104.
67. *Ivancio A., Rudholm S.A.* Technical color reactions of lignin // Sc. Papp. – 1959. – Vol. 62, N 16. – P. 554–566.
68. *Jayme G., Pohl E.* Nachweis der Ligninsulfonsaurs in grosser Verdunnung (Abwasser von Sulfitzellstoff-Fabriken) // Das Papier. – 1967. – N 10A. – S. 645–653.
69. *Jayme G., Rohmann E.M.* Über die Anwendung der IR-Spektroskopie bei Zellstoff- und Papieruntersuchungen // Papier (BRD). – 1965. – Bd.19, N 10A. – S. 719–728.
70. *Jayme G., Torgensen H.F.* Topochemie der Delignifizierung beim Aufschluss von Fichtenholz nach dem Sulfit- und Sulfatverfahren. Teil 1: Ultraviolett-mikroskopische Untersuchungen an teilweise delignifiziertem Fichtenholz // Holzforschung. – 1967. – Bd. 21, H.4. – S. 110–116.
71. *Johnson D.B., Moore W.E., Zank L.C.* The spectrophotometric determination of lignin in small wood samples // TAPPI. – 1961. – Vol. 44, N 11. – P. 793–798.
72. *Jones E.J.* The ultraviolet absorption spectra of complex hydroxyaromatic compounds and derivatives, with particular reference to lignin // TAPPI. – 1949. – Vol. 32. – P. 311–315.
73. *Kaszynska J.* Oznaczanie malych ilosci w masach cellulozowych metoda spectrofotometryczna // Prz. Pap. – 1973. – Vol. 29, N 7. – P. 234–239.
74. *Kleinert T.N.* Abbau von Cellulose und verwandte Kohlenhydraten unter der Bedingungen des alkalischen Holzaufschlusses // Papier (BRD). – 1969. – Jg.23, N 3. – S. 135–139.
75. *Kleinert T.N.* UV-Absorption von Sauerhydrolysaten gebleichter Zellstoffe // Papier (BRD). – 1971. – Jg. 25, N 2. – S. 65–67.
76. *Kleinert T.N., Joyce C.S.* Short wavelength ultraviolet absorption of various lignins and related substances. 3. The flow-microcuvette for conditions measurement of lignin concentration in sulphite cooking liquors // Pulp and Paper Mag. Canada. – 1957. – Vol. 58, N 6. – P. 131–134.
77. *Kolboe S., Ellefsen O.* Infrared investigations of lignin. A discussion of some recent results // TAPPI. – 1962. – Vol. 45, N 2. – P. 163–166.
78. *Lea D.C.* On orienting study of the effect of the neutral sulphite semichemical cook on the heimicelluloses of aspenwood // TAPPI. – 1954. – Vol. 37, N 9. – P. 393–399.
79. *Li J., Gellerstedt G.* The contribution to kappa number from hexeneuronic acid groups in pulp xylan // Carbohydrate Research. – 1997. – Vol. 302. – P. 213–218.
80. *Loschbrandt F.* Kokeforsok med avlut. II. Bestemmeelser av «reat-lignin» i blekte masser // Norsk Skogind. – 1950. – Vol. 4. – P. 119–134.
81. *Marton J., Sparks H.E.* Determination of lignin in pulp and paper by infrared multiple internal reflectance // TAPPI. – 1967. – Vol. 50, N 7. – P. 363–368.
82. *Meshitsuka G., Nakano J.* Effect of metal ion on color lignosulfonate and thiolignin // TAPPI. – 1973. – Vol. 56, N 7. – P. 105–108.
83. *Michell A.J.* Kappa number determination in kraft pulping by FTIR spectroscopic measurements on spent liquor // TAPPI. – 1990. – Vol. 4. – P. 235–236.
84. *Michell A.J., Watson A.J., Higgins H.B.* An infrared spectroscopic studies of delignification of eucalyptus regnans // TAPPI. – 1965. – Vol. 48, N 9. – P. 520–532.

85. *Musha Y., Goring D.A.I.* Cell dimension of cross sections of various hardwood species // Post-Graduate Res. Lab. Rep. – 1974. – Vol. 64. – P. 22.
86. *Nakamura T., Kitaura S.* Lignin color reactions // Industr. and Engng. Chem. – 1957. – Vol. 49, N 9. – P. 1388.
87. *Nyok-Saihon D., Glasser W.* On possible chromophoric structures in wood and pulps – a survey of the present state of knowledge // Polym.-Plast. Technol. and Eng. – 1979. – Vol. 12, N 2. – P. 159–179.
88. *Patterson R.F.* et al. Spectrophotometric determination of lignin in sulfite cooking liquor / R.F. Patterson, J.L. Keays, J.S. Hart et al. // Pulp and Paper Mag. Canada. – 1951. – Vol. 52, N 12. – P. 105–111.
89. *Pearl I.A., Benson H.K.* A Nitrosolignin Colorimetric Test for Sulfite Waste Liquor in Sea Water // Paper Trade J. – 1940. – Vol. 111. – P. 235–236.
90. *Procter A.R., Yean W.Q., Goring D.A.I.* The topochemistry of delignification in kraft and sulphite pulping of spruce wood // Pulp and Paper Magazine of Canada. – 1967. – Vol. 68, N 10. – P. T445–T460.
91. *Rice F.A.H., Fishbein L.J.* Spectrophotometric studies on the action of sulfuric acid on reducing sugars and isolation and identification of the ethersoluble substances produced from pentoses under acid conditions // J. Amer. Chem. Soc. – 1956. – Vol. 78, N 5. – P. 1005–1009.
92. *Richtzenhain H., Dryselius E.* Zur Frage der Existenz von saurelöslichem Lignin // Svensk Papperstidn. – 1953. – Vol. 56, N 9. – P. 324–327.
93. *Roffael E., Schaller K.* Beitrag zur quantitative Bestimmung von Ligninsulfonsäure in grosser Verdünnung // Wochenbl. Papierfabr. – 1972. – Bd. 100, N 11–12. – S. 417–418.
94. *Sarcanen K.V., Chang H.-M., Allan G.G.* Species variation in lignin. III. Hardwood lignins // TAPPI. – 1967. – Vol. 50, N 12. – P. 587–590.
95. *Saucedo V.M., Krishnagopalan G.A.* Application of In-Situ Near Infrared Analysis for the Measurement of Cooking Liquor Components During Kraft Pulping // Journal of Pulp and Paper Science. – 2000. – Vol. 26, N 1. – P. 25–30.
96. *Schadenbock W., Prey V.* Eine neue quantitative Ligninbestimmung mit Hilfe der UV-spectrophotometrie // Papier (BRD). – 1972. – Bd. 26, N 3. – S. 116–118.
97. *Schonning A.G., Johanson G.* Absorptiometric determination of acid-soluble lignin in semichemical bisulfite pulps and in some woods and plants // Svensk Papperstidn. – 1965. – Vol. 68, N 18. – P. 607–613.
98. *Schonning A.G., Johansson G.* The ultraviolet absorption of sulfite waste cooking liquor // Svensk Papperstidn. – 1959. – Vol. 62. – S. 646–652.
99. *Schultz T.P., Glasser W.G.* Quantitative structural analysis of lignin by Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectrometry // Holzforschung. – 1986. – Vol. 40. – P. 37–44.
100. *Schultz T.P., Templeton M.C., McGinnis G.D.* Rapid determination of lignocellulose by Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectrometry // Anal. Chem. – 1985. – Vol. 57. – P. 2867–2869.
101. *Senzyu R.* Untersuchungen über Lignin und Zellstoff. II. Eine neue Bestimmungsmethode des Lignin und Zellstoffen durch Kolloidtitration // Bull. Chem. Soc. Japan. – 1953. – Vol. 26, N 3. – P. 148–153.
102. *Sjostrom E., Enstrom B.* Spectrophotometric determination of the residual lignin in pulp after dissolution in cadoxen // Svensk Papperstidn. – 1966. – Vol. 69, N 15. – P. 469–476.

103. *Sjostrom E., Haglund P.* Spectrophotometric determination of the dissolution of lignin during sulfite cooking // TAPPI. – 1964. – Vol. 47, N 5. – P. 286–291.

104. *Swan B.* Isolation of acidsoluble lignin from the Klason lignin determination // Svensk Papperstidn. – 1965. – Vol. 68, N 22. – P. 791–795.

105. *Trojanowski J., Leonowicz A.* Plosciowe oznaczanie ligniny Bjorkmana w roztworze przy pomocy reakcji z floroglucyna // Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska. – 1962. – Vol. 17. – P. 121–126.

106. *Vodnansky J., Slabina M., Scheider B.* Investigation of the changes in composition and structure of cellulose and wood by infrared spectroscopy // Collect. Szechosl. Chem. Commun. – 1963. – Vol. 28, N 12. – P. 3245–3256.

107. *Wegener G., Przyklenk M., Fengel D.* Hexafluoropropanol as valuable solvent for lignin in UV and IR spectroscopy // Holzforschung. – 1983. – Bd. 37, N 6. – S. 303–307.

108. *Williams D.J.* The application of the UV-absorption characteristic of lignin to the control of pulp uniformity // Appita. – 1968. – Vol. 22, N 2. – P.46–52.

109. *Yoshira Kozutoshi et al.* Лигнин Класона. Новая методика количественного определения лигнина / Kozutoshi Yoshira, Takeshi Kobayashi, Toshiro Fujii, Isao Akamatsu // Камипа гикеси. – 1984. – Vol. 38, N 4. – P. 466–475 (РЖХ, 1985, реферат 2П10).

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 25.02.04

Yu.G. Khabarov

Methods of Lignin Determination

Data on methods of determining lignins both in lignocellulose materials and water solutions are provided.

УДК 676.11

К.Б. Воронцов, Е.Д. Гельфанд

Воронцов Константин Борисович родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии АГТУ. Область научных интересов – биотехнология, охрана окружающей среды.



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



ОБРАБОТКА СУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ ИЗВЕСТКОВАНИЕМ

Показано, что известкованием из сульфитного щелока удаляется до 50 % лигносульфонатов, эффект обработки снижается при уменьшении концентрации щелока.

Ключевые слова: сульфитные щелока, лигносульфонаты, известкование.

Обработка щелоков известкованием была предложена в первой половине XX в., как способ их очистки при сбросе в природные водоемы [2]. Было показано, что при обработке сульфитного щелока и сульфитно-спиртовой барды известковым молоком или сухой известью часть лигносульфонатов (ЛС) выпадает в осадок. В результате исследований была установлена зависимость между количеством осажденных ЛС, дозировкой извести и рН среды в процессе обработки. Так, при введении в сульфитно-щелочную среду извести в количестве до 130 % к органическим веществам удалось выделить до 60 % ЛС. При этом минимальный расход извести определяли порогом явной коагуляции ЛС, который наступал лишь при достижении средой рН 11 [2].

В более поздних исследованиях отмечено, что значительная доля ЛС может быть выделена из сульфитного щелока и щелоксодержащей сточной воды путем обработки их оксидами кальция и магния [1]. С тех пор, как щелока начали повсеместно упаривать и производить нашедшие разнообразное применение технические ЛС, известкование щелоков не представляло практического интереса.

С распадом СССР, приведшим к упадку производства во многих отраслях промышленности, существенно снизилась доля упариваемых щелоков и увеличился их сброс в канализацию, пропорционально этому вырос и сброс ЛС в природные водоемы.

Как известно, ЛС относятся к биологически трудноокисляемым веществам и проходят стадию биологической очистки, практически не разрушаясь. Поскольку сбрасываемые щелока в лучшем случае подвергаются только биологической очистке, то ЛС попадают в природные водоемы, нанося непоправимый ущерб окружающей среде. Таким образом, задача очистки сбросов от ЛС становится актуальной.

Цель данной работы – изучить, в какой мере обработка щелоков известкованием приводит к удалению ЛС.

Для исследований был взят щелок одного из предприятий, применяющих кислую сульфитную варку древесины ели на натриевом основании. Щелок имел следующие характеристики: рН 1,85; кислотность – 95 мг-экв / л; общее содержание редуцирующих веществ – 3,95 %, сухих веществ – 10,20 %; концентрация ЛС (по методу Пирла – Бенсона [3]) – 56 г/л; зольность сухого остатка – 12,2 %; плотность – 1042 кг/м³; содержание непосредственно титруемых соединений серы – 0,021 %, легкоотщепляемых – 0,270 %.

Для обработки щелока использовали известковое молоко с концентрацией оксида кальция 100 г/л. Обработку проводили путем внесения в пробу щелока определенной порции известкового молока при перемешивании. Пробы выдерживали в течение 0,5 ч, затем выпавший осадок отделяли центрифугированием, в фугате определяли содержание ЛС. Эффективность очистки рассчитывали в процентах по убыли ЛС с учетом разбавления проб в процессе обработки.

На рис. 1 показано, как зависит эффективность удаления ЛС от рН среды.

Как видно из рис. 1, эффективность удаления резко меняется в интервале рН от 12,2 до 12,5, при этом достигаемая степень очистки от ЛС не превышает 50 %. Согласно нашим расчетам, удельный расход СаО составляет 1,1 г/г выделенных ЛС, что может быть перспективным в случае, если выделенные ЛС найдут применение в качестве товарного продукта.

В связи с этим представляло интерес выяснить, как влияет содержание ЛС в щелоке на эффективность их удаления. Для этого из исходного щелока готовили растворы с разной концентрацией ЛС, которые обрабатывали известковым молоком до рН 12,5 с последующим выдерживанием и

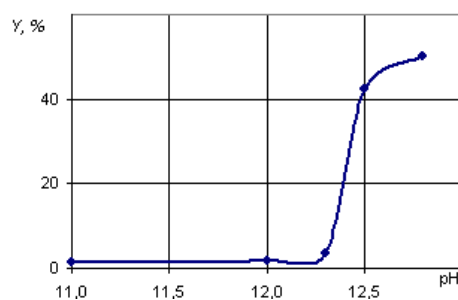


Рис. 1. Влияние рН на эффективность удаления (Y) ЛС из сульфитного щелока

центрифугированием. Результаты эксперимента, приведенные на рис. 2, отражают зависимость эффективности удаления ЛС и удельного расхода CaO (Z) от содержания ЛС в щелоке.

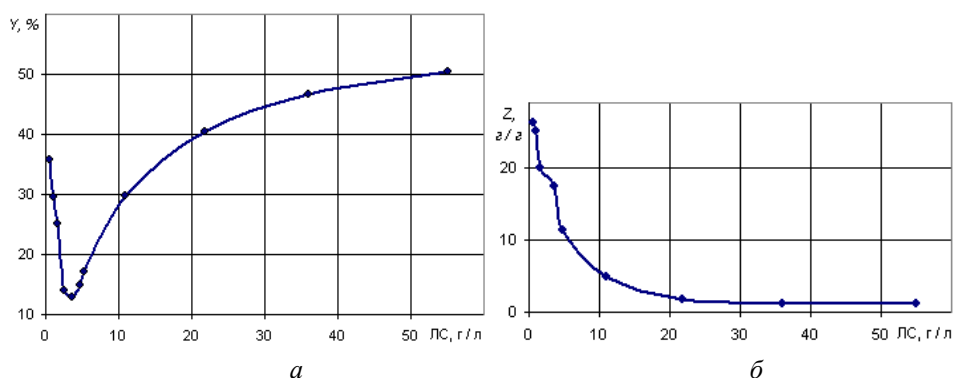


Рис. 2. Влияние концентрации ЛС на эффективность их удаления (*a*) и удельный расход CaO (*б*)

Как следует из полученных данных, эффективность очистки существенно снижается с уменьшением содержания ЛС и достигает минимума (около 12 %) при концентрации 2,5 г/л. По мере ее дальнейшего убывания эффективность вновь возрастает до 30 %.

Важным обстоятельством является то, что удельный расход извести при снижении концентрации ЛС до 20 г/л возрастает незначительно, а затем резко повышается (вплоть до 30 г/г).

Таким образом, известкование как способ очистки сульфитно-щелочных сред от ЛС может представлять практический интерес лишь в том случае, если их концентрация в среде не ниже 20 г/л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянова О.И. и др. Очистка промышленных стоков сульфитно-целлюлозного производства от лигносульфонатов / О.И. Лукьянова, Е.С. Соловьева, Н.Ф. Пилинская, П.А. Ребиндер // Бум. пром-сть. – 1973. – № 11. – С. 19 – 20.
2. Сапотницкий С.А. Использование сульфитных щелоков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 224 с.
3. Унифицированные методы анализа вод. – М.: Химия, 1971. – 376 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 29.12.03

K.B. Vorontsov, E.D. Gelfand

Treatment of Sulfite Liquors by Liming

It is shown that up to 50% of lignosulfonates are removed from sulfite liquor by liming, treatment effect decreasing under reduction of liquor's concentration.

УДК 546.992.3

Т.Э. Скребец, К.Г. Боголицын, Д.Г. Чухчин, С.А. Вербицкая

Скребец Татьяна Эдуардовна родилась в 1955 г., окончила в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 научных работ в области химии древесины и ее компонентов.



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, директор Научно-исследовательского института химии и химической технологии АГТУ, академик МАНЭБ и РАИИ, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области физико-химических процессов переработки древесины.



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных работ в области химической переработки древесины.



**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ДИОКСАНЛИГНИНА
ПОСЛЕ ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ
В ПРИСУТСТВИИ ЭТАНОЛА**

Установлено, что интенсификация процессов окисления лигнина растворенным кислородом и гидролитической деструкции в щелочной среде может происходить как за счет повышения температуры обработки, так и за счет изменения состава растворителя.

Ключевые слова: лигнин, этанол, щелочь, функциональный состав, молекулярная масса, окисление, деструкция.

Известно, что в щелочных средах лигнин достаточно легко окисляется кислородом. Большое число публикаций на эту тему обобщено в монографии В.М. Никитина [4]. Однако во многих из них речь идет об обработках лигнина различного происхождения водными растворами щелочей и, как правило, при подаче кислорода (воздуха) в систему. Эти и последующие многочисленные исследования были, в основном, направлены на обоснование и изучение процессов кислородно-щелочной отбелики и варки.

Введение в состав растворителя органического компонента (в частности алифатических спиртов) не только увеличивает растворимость лигнина, но и изменяет условия взаимодействия растворенного кислорода с органическим субстратом (лигнин или древесина): во-первых, концентрация

растворенного кислорода увеличивается с возрастанием доли спирта в составе растворителя [8], во-вторых, в растворителе (щелочной спирто-водный раствор) происходят структурные изменения, снижающие межмолекулярные взаимодействия в системе гидроксид натрия – вода, что приводит к ускорению диффузии гидроксида к реакционным центрам субстрата [2].

Цель настоящей работы – проанализировать изменения, происходящие с диоксанлигнином, как представителем малоизмененных лигнинных препаратов, в процессе щелочной обработки в присутствии этанола. Критериями оценки служили функциональный состав, молекулярно-массовые характеристики и выход кислотонерастворимого лигнина.

Диоксанлигнин (ДЛ) выделен из еловой муки, проэкстрагированной этиловым спиртом, по методу Пеппера [1]. Содержание лигнина Классона в муке, определенное по Комарову с 72 %-й серной кислотой [5], составило 29,17 %. Для извлечения ДЛ выбрана методика обработки древесной муки в токе азота при температуре 90 °С и атмосферном давлении смесью диоксан – вода в соотношении 9:1, содержащей 0,2 М соляную кислоту. Выход ДЛ составил 9,25 % лигнина Классона. Функциональный состав определяли по стандартным методикам [3]: метоксильные ($-\text{OCH}_3$) – модифицированным микрометодом по Цейзелю–Фибеку–Шваппаху, общие кислые – барий-хлоридным методом, карбоксильные ($-\text{COOH}$) – хемосорбционным кальций-ацетатным методом, карбонильные ($-\text{CO}$) – методом оксимирования. Содержание фенольных гидроксильных групп рассчитывали как разность между содержанием общих кислых и сильнокислых (карбоксильных) групп. Молекулярно-массовые характеристики ДЛ и образцов после обработки (среднечисловую M_n , среднемассовую M_w , молекулярные массы и степень полидисперсности) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе «Милихром-4». Сорбентом служил жесткий гель G-20 (размер частиц 20 мкм), эффективность колонки 2300 ... 2700 теоретических тарелок. Гель выдерживает давление до 50 МПа, частицы его практически однородны по форме и размерам. Разделение полидисперсного образца по размерам обеспечено элюентом следующего состава: диметилформамид (ДМФА) – 5 % ледяной уксусной кислоты – 1% LiCl. Детектируемая длина волны 280 нм, объем пробы 2 мкл, концентрация пробы лигнина 1%, время полного выхода образца 20 мин. Детектирование выходящего из колонки элюента и запись хроматограмм (на ЭВМ) ведется непрерывно. Ошибка определения параметров удерживания 0,5 %. Для калибровки хроматографической системы использованы фракции хвойного диоксанлигнина, охарактеризованные по молекулярным массам методом аналитического центрифугирования.

Исходный образец ДЛ имеет следующие характеристики: содержание метоксильных групп 16,00 %, общих кислых – 3,37 %, карбоксильных – 0,11 %, фенольных гидроксильных – 2,98 %; $M_n = 8\ 500$, $M_w = 27\ 400$; степень полидисперсности 3,2.

Обработки елового диоксанлигнина проведены водным раствором NaOH при температуре 25 ... 90 °С и водно-этанольными (25 и 50 об.% этанола в смеси) растворами NaOH при температуре 25 °С. Концентрация щелочи (0,2 г-экв/л) выбрана из условия необходимости наиболее полной ионизации фенольных гидроксидов лигнина, которые являются основными исходными объектами окислительных превращений. Максимальное время обработки 6 ч. После обработки щелочные растворы лигнина подкисляли соляной кислотой до pH 2...3, осадившийся лигнин отфильтровывали, промывали водой, сушили и определяли выход и функциональный состав (количество общих кислых, карбонильных, карбоксильных, метоксильных и фенольных гидроксильных групп). Концентрация лигнина в растворе в начале обработки составляла в каждом случае 5 г/л. Переменные факторы – состав растворителя и температура обработки.

Анализ функционального состава лигнинов, полученных после обработок по названным режимам, показал, что процесс деметоксилирования препарата во всех случаях практически отсутствует (содержание метоксильных групп стабильно и составляет $(14,5 \pm 1,6)$ %).

Обнаружено, что изменение содержания фенольных гидроксильных групп в обработанных образцах является чрезвычайно лабильным параметром, который характеризует не только убыль фенольных гидроксидов в процессах редокс-превращений, но и появление их в результате деструкции макромолекул лигнина. Таким образом, этот показатель является интегральной характеристикой, включающей процессы окисления (убыль OH-групп) и деструкции (увеличение OH-групп) лигнина. Судя по полученным данным (см. таблицу), в щелочном водном растворе до температуры 70 °С преобладает окисление фенольных OH-групп, а при 80 ... 90 °С достаточно интенсивно идут и деструкционные процессы.

Накопление сильноокислых (карбоксильных) групп в лигнине после обработки происходит с увеличением как температуры при обработке в водной среде, так и содержания этанола в растворителе при постоянной температуре.

Изменение содержания карбонильных групп в лигнине после обработки вполне объясняется их промежуточным положением в цепочке окислительных превращений функциональных групп лигнина: фенольный гидроксил – карбонил – карбоксил. В водной среде отсутствует корреляция между температурой обработки и содержанием карбонильных групп. При переходе к смешанному растворителю наблюдается тенденция к накоплению этих групп.

Для характеристики процесса окислительной деструкции макромолекул лигнина в щелочной среде выбран метод эксклюзионной ВЭЖХ, позволяющий анализировать молекулярно-массовые свойства полимера. Метод ВЭЖХ дает достоверные результаты для характеристики молекулярно-массового состава как технических лигнинов, так и малоизмененных препаратов [7], каковым является исследуемый образец ДЛ.

Наиболее приемлемой для ВЭЖХ зависимостью коэффициента распределения K_d от молекулярной массы M является логарифмическая [6]:

$$K_d = A - b \cdot \lg M,$$

где A и b – коэффициенты, полученные при калибровке системы, $A = 1,5534$ и $b = 0,2658$.

Программное обеспечение, созданное для компьютерной обработки экспериментальных данных [7], позволяет корректировать границы фракционирования, вычитать фон, рассчитывать молекулярные массы, степень полидисперсности.

Показатели ДЛ после обработки водным раствором NaOH

Температура обработки, °С	Общие кислоты	–COOH	–CO	–ОН	M_n	M_w	Выход лигнина, %
25	3,23	0,14	4,31	3,09	11 800	31 500	88,4
*	3,08	0,41	4,22	2,67	12 500	33 200	76,6
**	3,27	0,79	5,35	2,48	13 200	38 400	30,0
35	1,67	0,31	2,64	1,36	9 400	28 600	88,2
45	3,10	0,78	1,47	2,32	10 200	27 800	89,1
55	2,83	0,56	2,07	2,27	11 400	31 400	88,1
70	4,01	0,91	2,51	3,10	8 000	26 000	75,7
80	4,41	1,07	2,78	3,34	10 400	31 200	72,1
90	4,42	1,00	3,91	3,42	9 200	30 700	72,8

* Обработка 25 %-м этанольно-водным раствором NaOH.

** Обработка 50 %-м этанольно-водным раствором NaOH.

Полученные результаты показывают, что степень полидисперсности лигнина после обработки не претерпевает значительных изменений по сравнению с исходным образцом и во всех случаях составляет $2,9 \pm 0,2$.

По средним значениям молекулярных масс обработанных образцов (см. таблицу) трудно судить о влиянии температуры на процесс. Однако обработка лигнина этанольно-водным раствором явно приводит к увеличению значений M_n и M_w . Если после обработки водным раствором гидроксида натрия M_n увеличивается на 38,8 %, то после обработки 25- и 50 %-м этанольно-водным раствором этот показатель возрастает соответственно на 47,0 и 55,3 %. На значениях среднемассовых молекулярных масс влияние обработок не столь очевидно (отмечено увеличение M_w соответственно на 15,0, 21,2 и 40,1 %), так как изменение в содержании низкомолекулярных фракций оказывает большее влияние на величину M_n . Увеличение средних молекулярных масс лигнина связано с удалением низкомолекулярной составляющей: чем выше содержание этанола, тем большая доля фрагментов лигнина с низкими молекулярными массами остается в растворе. Эти данные подтверждаются изменением выхода кислотонерастворимого лигнина после обработок (см. таблицу).

Хроматограммы лигнинов (рис.1, 2), обработанных при различных температурах или разными по составу растворителями, более наглядно по-

казывают изменения в относительном содержании низко- и высокомолекулярных фракций. Очевидно молекулярно-массовые свойства лигнина изменяются при обработках в сторону увеличения доли высокомолекулярных фракций полимера за счет «вымывания» низко- и среднемолекулярных составляющих, которые становятся более растворимыми в воде после обработки. Интенсифицируют этот процесс добавки этанола в растворитель. Накопление высокомолекулярной составляющей в присутствии этанола в составе растворителя явно происходит при более низкой температуре, чем при обработке в водной среде, и осуществляется более энергично.

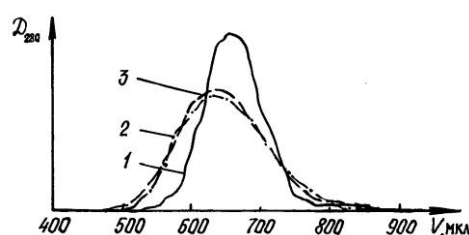


Рис. 1. Хроматограммы лигнинов, обработанных водным раствором щелочи при температуре 25 (1), 50 (2), 90 °С (3)

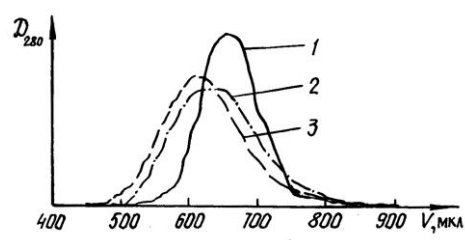


Рис. 2. Хроматограммы лигнинов, обработанных этанольно-водным раствором щелочи при температуре 25 °С и содержании этанола 0 (1), 25 (2), 50 % (3)

Таким образом, интенсификация процессов окисления растворенным кислородом и щелочной гидролитической деструкции лигнина может осуществляться как за счет повышения температуры обработки, так и путем изменения состава растворителя (введение этанола). Увеличение содержания этанола в реакционной среде до 50 % оказывает более существенное воздействие, чем увеличение температуры от 25 до 90 °С в водной среде. Полученные данные могут служить предпосылкой для исследования оптимизации процесса натронной делигнификации древесины в среде смешанного (водно-органического) растворителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браунс Ф.Э., Браунс Д.А. Химия лигнина: Пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 540 с.
2. Галашина В.Н. и др. Влияние алифатических спиртов на состояние растворов гидроксида натрия / В.Н. Галашина, Н.А. Якунин, С.М. Губина, Б.Н. Мельников // Химия древесины. – 1992. – №2-3. – С. 81–84.
3. Закис Г.Ф., Можейко Л.Н., Тельшьева Г.М. Методы определения функциональных групп лигнина. – Рига: Зинатне, 1975. – 75 с.
4. Никитин В.М. Теоретические основы делигнификации. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 296 с.
5. Оболенская А.В. и др. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская, В.П. Щеголев, Г.Л. Аким и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 441с.
6. Соколов О.М. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гельфильтрации: Учеб. пособие. – Л.: ЛТА, 1978. – 74 с.
7. Соколов О.М., Чухчин Д.Г., Майер Л.В. Высокоэффективная жидкостная хроматография лигнинов // Лесн. журн. – 1998. – № 2-3. – С. 132–136. – (Изв. высш. учеб. заведений).

8. Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных систем: Т.2.Трехкомпонентные системы. – Л.; М.: Госхимиздат, 1953. – 671 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 9.01.04

T.E. Screbets, K.G. Bogolitsyn, D.G. Chukchin, S.A. Verbitskaya

Change of Dioxanlignin Characteristics after Alkali Treatment in Ethanol Presence

It was found out that intensification of lignin oxidation by dissolved oxygen and its hydrolytic destruction in the alkali medium could take place both through increase of treatment temperature and change of dissolvent composition.



УДК 330.11.62

А.Ю. Харитонов, А.В. Пластинин

Харитонов Алексей Юрьевич родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, генеральный директор ОАО «Научдревпром – ЦНИИМОД», аспирант кафедры менеджмента АГТУ. Имеет 5 печатных работ в области экономики лесного комплекса.



Пластинин Александр Викторович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента Института экономики, финансов и бизнеса Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 60 печатных работ в области экономики лесного комплекса.



МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ СТОИМОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена математическая модель, позволяющая сочетанием методов экспертных оценок и расстановки приоритетов определять комплексный показатель стоимости предприятия.

Ключевые слова: комплексный показатель стоимости, методы расстановки приоритетов, экспертных оценок, взвешивания.

Рыночная стоимость бизнеса предприятия оценивается несколькими методами. Оценщик не обязан использовать все имеющиеся методы, а может ограничиться теми, которые более других соответствуют ситуации [1].

На основе исследований деятельности лесозаготовительных предприятий Архангельской области нами определены следующие возможные методы для оценки бизнеса [3]:

- 1) чистых активов;
- 2) реальных опционов с использованием формулы Блэка – Шоулза (далее метод реальных опционов) [5];

3) с использованием мультипликатора, основанный на определении зависимости между стоимостью бизнеса лесозаготовительных предприятий и годовым объемом лесозаготовок [4].

Относительную значимость показателей стоимости оценщик определяет путем их взвешивания. Это ключевой вопрос на заключительном этапе процесса оценки [1].

Существуют два базовых метода взвешивания: математического и субъективного. При первом методе, в отличие от второго, используется процентное взвешивание.

Оценочное заключение базируется на учете преимуществ и недостатков каждого метода, количества и качества данных. Здесь важны профессиональный опыт и суждения оценщика.

Для определения веса каждого оценочного метода необходимо учитывать следующие факторы:

характер бизнеса и его активов. Например, при оценке холдинговой и инвестиционной компании больший вес будет придан методу стоимости чистых активов;

цель оценки и предположительное ее использование;

применяемый стандарт стоимости. Если определяется ликвидационная стоимость, то бессмысленно использовать методы дисконтированных денежных потоков, рынка капитала или сделок;

количество и качество данных, подкрепляющих данный метод;

уровень ликвидности и контроля.

Учет этих факторов дает возможность произвести взвешивание и сделать итоговое заключение.

На наш взгляд, одним из продуктивных методов решения таких задач может быть построение комплексного показателя стоимости предприятия на основе методов экспертных оценок и расстановки приоритетов.

Формула комплексного показателя стоимости предприятия имеет вид

$$V = P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3,$$

где P_1, P_2, P_3 – коэффициенты значимости показателей стоимости предприятия, рассчитанных методами соответственно чистых активов, реальных опционов и использования мультипликатора;

V_1, V_2, V_3 – частные показатели стоимости предприятия.

Для расчета коэффициентов значимости использовали методы экспертных оценок и расстановки приоритетов, которые находят все большее применение при решении задач, в которых качественной стороне явлений необходимо придать количественную определенность [2].

В соответствии с принципами метода «Дельфы» проведена экспертиза методом парных сравнений, позволяющая выявить предпочтения экспертов «в чистом виде». Другие виды оценок, например балльная, требуют транзитивности – логичности предпочтений. Нетранзитивность системы парных сравнений может встречаться довольно часто по разным причинам.

Во-первых, весьма распространена ситуация, когда эксперт неодинаково знаком с объектами, подлежащими оценке, и в некоторых случаях может допустить неточность. Во-вторых, при достаточно большом числе объектов их оценку по одному и тому же признаку могут производить несколько экспертов, причем каждый оценивает только часть объектов, что может вызвать некоторые противоречия. В-третьих, у эксперта, оценивающего все объекты, порог их оценки может быть неодинаковым. В-четвертых, даже если при индивидуальной оценке несколькими экспертами одних и тех же объектов по заданному признаку получены транзитивные системы сравнений, то при сведении их в групповую оценку по правилу большинства возможно нарушение транзитивности.

В нашем случае группа экспертов состояла из 11 человек. Была поставлена задача оценить показатели стоимости предприятия, рассчитанные различными методами, с точки зрения их значимости, способности отражать стоимость. Используя метод парных сравнений, эксперты оценивали возможные пары частных показателей и высказывали суждение о предпочтительности (приоритете) одного показателя перед другим. Здесь возможны три случая:

- 1) эксперт, сравнивая показатели x_i и x_j , ставит знак $>$, если считает, что x_i лучше и полнее отражает стоимость предприятия ($x_i > x_j$);
- 2) выражение $x_i < x_j$ соответствует обратному суждению, т. е. лучше показатель x_j ;
- 3) выражение $x_i = x_j$ означает, что эксперт не видит существенных различий в значимости (силе) оцениваемых показателей.

В результате оценки получена нетранзитивная матрица парных сравнений (табл. 1).

Таблица 1

Пары для сравнений	Оценки экспертов											Итого		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	>	<	=
x_1 и x_2	>	>	<	>	<	<	<	<	<	>	<	4	7	0
x_1 и x_3	<	<	<	>	<	<	<	<	<	<	>	2	9	0
x_2 и x_3	<	<	<	>	<	<	>	>	>	<	>	5	6	0

По преобладанию знаков заполняли итоговую графу в таблице. От этой системы сравнений переходили к построению матрицы смежности (табл. 2), используя при средневзвешенном различии степени варьирования критериев следующие баллы:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 2 & \text{ïðè} & x_i > x_j \\ 1 & \text{ïðè} & x_i = x_j \\ 0 & \text{ïðè} & x_i < x_j \end{pmatrix}$$

где x_i, x_j – сравниваемые показатели эффективности.

Таблица 2

Метод	Условные баллы			Сумма баллов	Абсолютный приоритет	Коэффициент значимости
	x_1	x_2	x_3			
x_1	1,00	0,73	0,36	2,09	5,76	0,225
x_2	1,27	1,00	0,91	3,18	9,23	0,360
x_3	1,64	1,09	1,00	3,73	10,62	0,415
Итого	–	–	–	9,00	25,61	1,000

Таблица 3

Леспромхоз	Стоимость бизнеса, тыс. р., полученная методами			
	чистых активов	реальных опционов	мультипликаторов	Итого
ОАО «Вельский КЛПХ»	18 021	20 829	5 699	13 918
ОАО «Онегалес»	88 422	96 610	118 239	103 744
ОАО «Светозерсклес»	50 575	52 900	51 796	51 919
ОАО «Сийский КЛПХ»	14 292	24 281	27 635	23 426
ОАО «Усть-Покшеньгский ЛПХ»	31 836	36 851	55 293	43 376
ОАО «Шалакушалес»	47 828	50 043	60 062	53 703

Сложением по строкам в табл. 2 рассчитывали сумму баллов. Для определения абсолютного приоритета значимости P^a каждый элемент строки умножали на вектор-столбец суммы баллов. В нашем случае

$$P_{\bar{\sigma}_1}^a = 1,00 \cdot 2,09 + 0,73 \cdot 3,18 + 0,36 \cdot 3,73 = 5,76;$$

$$P_{\bar{\sigma}_2}^a = 1,27 \cdot 2,09 + 1,00 \cdot 3,18 + 0,91 \cdot 3,73 = 9,23;$$

$$P_{\bar{\sigma}_3}^a = 1,64 \cdot 2,09 + 1,09 \cdot 3,18 + 1,00 \cdot 3,73 = 10,62.$$

Коэффициенты значимости рассчитали, принимая сумму абсолютных приоритетов за единицу:

$$P_{\bar{\sigma}_1} = \frac{5,76}{25,61} = 0,225; \quad P_{\bar{\sigma}_2} = \frac{9,23}{25,61} = 0,360; \quad P_{\bar{\sigma}_3} = \frac{10,62}{25,61} = 0,415.$$

Используя полученные коэффициенты значимости частных показателей стоимости предприятия, определяли комплексный показатель стоимости. Данные расчетов по состоянию на 01.01.2000 г. приведены в табл. 3.

Выводы

1. Экспертные оценки в сочетании с методом расстановки приоритетов служат действенным способом построения комплексного показателя стоимости предприятия.

2. Комплексный показатель стоимости позволяет ранжировать предприятия отрасли по уровню стоимости и однозначно оценить динамику показателя стоимости за ряд лет.

3. Предложенная методика может быть реализована на предприятиях лесного комплекса. При этом в соответствии с поставленными целями и на-

личием необходимой информации можно изменять состав частных показателей стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка бизнеса: Учеб. / Под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 512 с.
2. *Пластинин А.В., Суханов Г.Г.* О методике построения комплексного показателя эффективности производства на предприятии // Лесн. журн. – 1991. – № 4. – С. 107–110. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Харитонов А.Ю.* Особенности лесозаготовительных предприятий как объектов оценки // Современные аспекты экономики. – 2003. – № 4 (32). – С. 227–231.
4. *Харитонов А.Ю., Пластинин А.В.* Расчет мультипликатора на основе зависимости между стоимостью бизнеса лесозаготовительных предприятий и годовым объемом лесозаготовок // Современные аспекты экономики. – 2002. – № 15 (28). – С. 115–122.
5. *Харитонов А.Ю., Пластинин А.В.* Применение метода реальных опционов для оценки стоимости бизнеса лесопромышленных предприятий // Лесн. журн. – 2003. – № 4. – С. 123–129. – (Изв. высш. учеб. заведений).

ОАО «Научдревпром – ЦНИИМОД»

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 10.02.04

A.Yu. Kharitonov, A.V. Plastinin

Technique for Developing Integrated Cost Index of Enterprise

Mathematical model allowing to determine complex index of the enterprise cost by combining methods of expert appraisal and priorities ranking is proposed.



КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 630307: 004.4.22

А.Т. Гурьев, А.А. Блок

Гурьев Александр Тимофеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, проректор по информационным технологиям, директор Института информационных технологий Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 работ в области исследования процессов лесного комплекса.



Блок Андрей Андреевич родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры информационных технологий Института информационных технологий АГТУ. Область научных интересов – моделирование технических систем.



ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

Установлено, что использование Е-сетей для формализации процессов работы комплексов машин позволяет повысить эффективность создания имитационных моделей.

Ключевые слова: комплекс лесосечных машин, сети Петри, Е-сети, формализация, имитационное моделирование.

Вопросы имитационного моделирования работы лесных машин с различной степенью детализации достаточно подробно изложены в ряде работ, например в [1]. Попытки создания специализированных автоматизированных рабочих мест (АРМ) при управлении лесосечными процессами с использованием имитационных моделей пока не увенчались успехом. На наш взгляд, эффективное использование имитационных моделей в производстве возможно только в составе интегрированной информационной системы [8].

Разработка универсальных методов моделирования комплексов лесных машин для интеллектуальной поддержки принятия решений представляется актуальной и важной.

В качестве математического аппарата при построении формальной модели в целях более глубокого понимания взаимосвязей между ее элементами и их однозначного отражения с помощью стандартизованных нотаций предлагаем использовать Е-сети (расширение сетей Петри) [5, 6].

Оценочные или E-сети как расширение сетей Петри и средство описания моделей функционирования сложных систем задают совокупностью множеств N :

$$N = \langle B, V_P, V_R, D, M_0 \rangle,$$

где B – конечное множество позиций;
 $V_P \subset B$ – конечное множество периферийных позиций;
 $V_R \subset B$ – конечное множество решающих позиций;
 D – множество описаний переходов $d_i = (s, t(d_i), \rho)$;
 s – тип перехода;
 $t(d_i)$ – время перехода;
 ρ – процедура перехода;
 M_0 – начальная разметка сети.

Важной особенностью E-сети является детализация представления метки. С каждой меткой в E-сети связаны n описателей. Значение i -го описателя в позиции b_k обозначают как $M(b_k(i))$. Каждый из описателей метки несет в себе определенную количественную информацию о моделируемом объекте. Переходы в E-сети моделируют некоторое событие не только на уровне выполнения всех необходимых условий, но и отражают также ряд операций, связанных с данным событием. Набор операций и условия их выполнения задаются процедурой перехода ρ .

Для E-сетей определены пять основных типов переходов [6, 7]. Логика работы переходов задается указанием разрешенных смен разметок. Например, срабатывание перехода типа T_E происходит при наличии метки во входной позиции b_1 и отсутствии метки в выходной позиции b_2 .

Пять основных типов переходов (T_E, J_E, F_E, X_E, Y_E) позволяют моделировать различные ситуации, встречающиеся в реальных системах. Переход T_E моделирует событие, наступающее при выполнении одного условия. В случае необходимости двух условий используют переход J_E . Разветвление потока информации отображается в переходе F_E . При необходимости изменения направления потока информации по некоторому условию используют переход типа X_E . Переход типа Y_E отражает приоритет одного потока информации перед другими. При этом в зависимости от внутренней логики позиции возможно представление различных приоритетов для потоков меток: фиксированное, в виде функции от описателей меток или от внешних переменных системы.

Позиции $b_i \cap V_R$ могут являться в сети как внутренними, так и периферийными. Если $b_i \cap V_P$, то состояние позиции может быть нулевым $M(b_i) = 0$, единичным $M(b_i) = 1$ или неопределенным $M(b_i) = \emptyset$. Для перевода позиции из неопределенного состояния в нулевое или единичное используется решающая процедура перехода:

$$r : [P_1 \rightarrow M(b_i) : = \alpha; \quad P_2 \rightarrow M(b_i) : = 1 - \alpha],$$

где P_1, P_2 – предикаты, принимающие два значения: 1 или 0 ($\alpha = \{0, 1\}$).

Выполнение решающей процедуры начинают с вычисления P_1 . Если P_1 истинно, то $M(b_i) : = \alpha$, далее оценка не производится. Если же P_1 ложно,

то вычисляют P_2 . В том случае, если и P_2 оказывается ложным, то состояние b_i остается неопределенным. Решающую процедуру выполняют повторно только после изменения хотя бы одного из аргументов P_1 или P_2 .

Если решающая позиция $b_i \cap (B/V_P)$, то ее состояние устанавливают обычным для сетей Петри образом при срабатывании переходов сети.

Функционирование перехода Е-сети определяют как последовательность четырех фаз:

1. Фаза псевдоготовности присутствует для тех переходов d_j , для которых все входные нерешающие позиции промаркированы: выполнение решающей процедуры перехода.
2. Фаза готовности: вычисление $t(d_i)$ и установка активной фазы.
3. Активная фаза, длительность которой определяют вычисленным значением $t(d_i)$: ведение операций над описателями меток.
4. Заключительная фаза: изменение разметки в соответствии с уравнениями перехода.

Составление Е-сетевой модели системы значительно упрощается при использовании иерархического подхода к структуре модели, когда ряд наиболее часто встречающихся подсетей выделяют в качестве макроэлементов – макропозиций и макропереходов. Необходимыми элементами Е-сетевой модели являются обычно макропозиция генератора G_E и поглощающая метки макропозиция A_E .

Рассмотрим некоторые примеры моделирования сетями отдельных комплексов лесных машин.

1. Комплекс машин, используемый в ОАО «Луковецкий ЛПХ» с технологической схемой тимберджек + ЛТ-154 А (рис. 1.)

Исходя из местных условий и необходимости использования имеющейся техники, валочно-пакетирующая машина (тимберджек-618) срезает

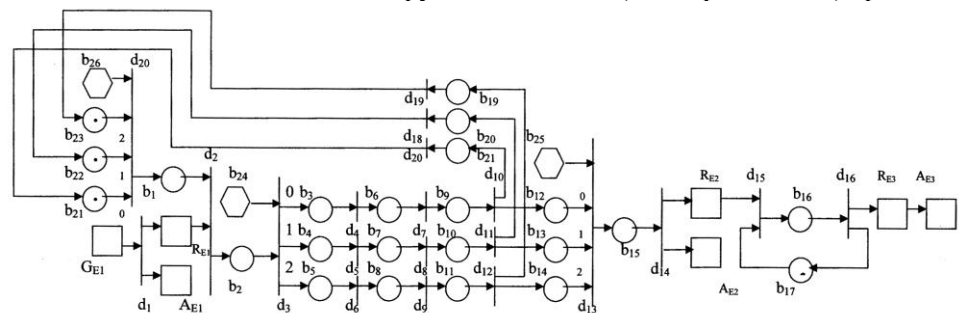


Рис. 1. Общая схема Е-сети лесозаготовительного участка ОАО «Луковецкий ЛПХ»: G_{E1} – складирование хлыстов валочно-пакетирующей машиной в пачки, b_{3-5} – погрузка пакетов на трелевочные машины, b_{6-8} – транспортировка, b_{9-11} – разгрузка, b_{16} – работа сучкорезных машин; b_{18-20} – холостой ход трелевочных машин; R_{E1} – общий объем поваленных деревьев; R_{E2} – общий объем стрелеванных пачек; R_{E3} – объем заготовленной древесины; A_{E1} , A_{E2} , A_{E3} – терминаторы; описатели меток: $M(b_i(1))$ – объем пачки, перевозимой трелевочной машиной, $M(b_i(2))$ – номер трелевочной машины; \circ – позиция, \square – решающая позиция, \square – макропозиция

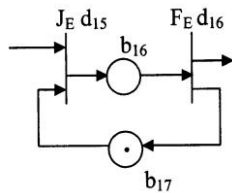


Рис. 2. Модель сучкорезной машины

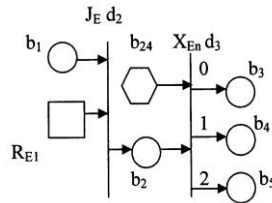


Рис. 3. Модель загрузки трелевочной машины

до 250 м³ в смену и складывает их в пачки, которые транспортируют три машины для трелевки пачек деревьев ЛТ-154 А. Затем выполняют обрезку сучьев и погрузку хлыстов на лесовозный транспорт. Рассмотрим более подробно некоторые отдельные элементы схемы.

На рис. 2 представлена модель сучкорезной машины. Маркировка позиции показывает, что машина свободна. Переход d₁₅ (типовой переход объединения J_E) может сработать, когда есть сырье и свободна машина (позиция b₁₇), в этом случае метка будет помещена в позицию b₁₆, а из всех входных позиций метки будут удалены, т.е. это имитирует обработку древесины сучкорезной машиной. По окончании обработки, через срабатывание перехода d₁₆ (типовой переход разветвления F_E), метка изымается из позиции b₁₆ и размещается по двум направлениям: перемещение сырья по этапам обработки и помещение в позицию b₁₇ (машина свободна).

Второй элемент модели, имитирующий сбор пачки трелевочной машиной, представлен на рис. 3.

В данном элементе схемы маркировка позиции b₁ означает готовность трелевочной машины к загрузке. В случае, если набралось достаточное количество хлыстов для погрузки и трелевочная машина готова к работе, срабатывает переход d₂ (типовой переход объединения J_E), после этого метка помещается в позицию b₂ (загрузка трелевочной машины), а из всех входных позиций изымается по метке. После окончания загрузки, в зависимости от маркировки позиции b₂₄, значение которой зависит от номера трелевочной машины, метка через макропереход X_{En} (создан на основе типового управляемого перехода разветвления X_E) перемещается в одну из позиций b₃₋₅, т.е. начало перевозки пачки трелевочной машиной.

Ниже представлен символичный вариант схемы, приведенной на рис. 1.

$$\begin{aligned}
 d_1 &= (F_E(G_{E1}, R_{E1}, A_{E1}); 0; |R_{E1}| := |R_{E1}| + M(G_{E1}(2))); \\
 d_2 &= (J_E(b_1, R_{E1}, b_2); 0; |R_{E1}| := |R_{E1}| - f_1(M(b_1(2)), M(b_2(1))) := f_1(M(b_1(2))); \\
 d_3 &= (X_E(b_{24}, b_2, b_3, b_4, b_5); 0; -); \\
 d_4 &= (T_E(b_3, b_6); f_2(M(b_3(2)), M(b_3(1))); -); \\
 d_5 &= (T_E(b_4, b_7); f_2(M(b_4(2)), M(b_4(1))); -); \\
 d_6 &= (T_E(b_5, b_8); f_2(M(b_5(2)), M(b_5(1))); -); \\
 d_7 &= (T_E(b_6, b_9); f_3(M(b_6(2))); -); \\
 d_8 &= (T_E(b_7, b_{10}); f_3(M(b_7(2))); -); \\
 d_9 &= (T_E(b_8, b_{11}); f_3(M(b_8(2))); -);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_{10} &= (F_E(b_9, b_{12}, b_{18}); f_4(M(b_9(1)), M(b_9(2))))); -); \\
d_{11} &= (F_E(b_{10}, b_{13}, b_{19}); f_4(M(b_{10}(1)), M(b_{10}(2))))); -); \\
d_{12} &= (F_E(b_{11}, b_{14}, b_{20}); f_4(M(b_{11}(1)), M(b_{11}(2))))); -); \\
d_{13} &= (Y_E(b_{25}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}); 0; -); \\
d_{14} &= (F_E(b_{15}, R_{E2}, A_{E2}); 0; |R_{E2}| := |R_{E2}| + M(b_{15}(1))); \\
d_{15} &= (J_E(R_{E2}, b_{17}, b_{16}); 0; M(b_{16}(1)) := f_5, |R_{E2}| := |R_{E2}| - M(b_{16}(1))); \\
d_{16} &= (F_E(b_{16}, R_{E3}, b_{17}); f_6(M(b_{16}(1))); |R_{E3}| := |R_{E2}| - f_6(M(b_{16}(1)))); \\
d_{17} &= (T_E(b_{18}, b_{21}); f_8(M(b_{18}(2))))); -); \\
d_{18} &= (T_E(b_{19}, b_{22}); f_8(M(b_{19}(2))))); -); \\
d_{19} &= (T_E(b_{20}, b_{23}); f_8(M(b_{20}(2))))); -).
\end{aligned}$$

Детализация G_{E1} (рис. 4):

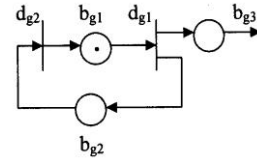


Рис. 4. Модель формирования пачек

$$\begin{aligned}
d_{g1} &= (F_E(b_{g1}, b_{g2}, b_{g3}); f_9; M(b_{g3}(1)) := f_{10}); \\
d_{g2} &= (T_E(b_{g2}, b_{g1}); 0; -).
\end{aligned}$$

Решающие процедуры:

$$\begin{aligned}
r(b_{24}) &= [M(b_2(2)) = 0 \rightarrow M(b_{24}) : 0; M(b_2(2)) = 1 \rightarrow M(b_{24}) : = 1; \\
&M(b_2(2)) = 2 \rightarrow M(b_{24}) : = 2]; \\
r(b_{25}) &= [M(b_{25}) : = 0]; \\
r(b_{26}) &= [M(b_{26}) : = 0].
\end{aligned}$$

Расшифруем используемые в этих формулах функции:

- $f_1(x_1)$ – функция объема пачки, перевозимой трелевочной машиной (x_1 – тип трелевочной машины, x_2 – объем загружаемой древесины);
- $f_2(x_1, x_2)$ – функция продолжительности загрузки трелевочной машины;
- $f_3(x_1)$ – функция продолжительности транспортировки;
- $f_4(x_1, x_2)$ – функция продолжительности разгрузки;
- f_5 – функция объема древесины, загружаемой в сучкорезную машину;
- $f_6(x_2)$ – функция продолжительности обработки сучкорезной машиной;
- $f_7(x_2)$ – объем выхода из сучкорезной машины;
- $f_8(x_1)$ – функция продолжительности холостого хода трелевочной машины;
- f_9 – функция продолжительности поступления древесины на погрузку;
- f_{10} – функция объема поступающей на погрузку древесины.

2. Комплекс машин с технологической схемой харвестер+форвардер (рис. 5)

Символьный вариант схемы на рис. 5 имеет вид:

$$\begin{aligned}
d_1 &= (T_E(b_3, b_1); f_1(M(b_3(1))))); -); \\
d_2 &= (T_E(b_1, b_2); f_2(M(b_1(1))); M(b_2(1)) := f_3(M(b_1(1)))); \\
d_3 &= (F_E(b_2, R_{E1}, b_3); f_4(M(b_2(1))); |R_{E1}| := |R_{E1}| + f_5(M(b_2(1))); M(b_3(1)) := f_6); \\
d_4 &= (J_E(R_{E1}, b_7, b_4); f_{13}; M(b_4(1)) := f_7, |R_{E1}| := |R_{E1}| - M(b_4(1))); \\
d_5 &= (T_E(b_4, b_5); f_8(M(b_4(1))); M(b_5(1)) := f_9(M(b_4(1)))); \\
d_6 &= (T_E(b_5, b_6); f_{10}); -); \\
d_7 &= (F_E(b_6, R_{E2}, b_7); f_{11}(M(b_6(1))); |R_{E2}| := |R_{E2}| + f_{12}(M(b_6(1))), M(b_7(1)) := 0).
\end{aligned}$$

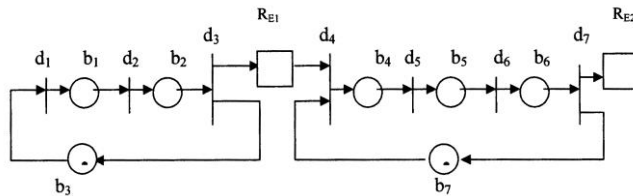


Рис. 5. Модель комплекса харвестер+форвардер: b_3 – валка дерева, b_1 – обрезка сучьев, b_2 – выработка сортиментов; R_{E1} – общий объем выработанных сортиментов; b_4 – загрузка сортиментов на форвардер, b_5 – транспортировка сортиментов, b_6 – разгрузка сортиментов, b_7 – холостой ход форвардера, R_{E2} – общий объем сортиментов на погрузочном пункте; описатели меток: $M(b_i(1))$ – объем древесины на соответствующей операции

Расшифруем используемые в этих формулах функции:

$f_1(x_1)$ – функция продолжительности валки дерева (x_1 – объем древесины);

$f_2(x_1)$ – функции продолжительности обрезки сучьев;

$f_3(x_1)$ – функция потерь при обрезке сучьев;

$f_4(x_1)$ – функция продолжительности заготовки сортиментов;

$f_5(x_1)$ – функция потерь при заготовке сортиментов;

f_6 – функция объема дерева к валке;

f_7 – функция объема сортиментов, погружаемых на форвардер;

$f_8(x_1)$ – функция продолжительности погрузки сортиментов на форвардер;

$f_9(x_1)$ – функция потерь при погрузке сортиментов;

f_{10} – функция продолжительности транспортировки сортиментов;

$f_{11}(x_1)$ – функция продолжительности разгрузки сортиментов;

$f_{12}(x_1)$ – функция потерь при разгрузке сортиментов;

f_{13} – функция продолжительности холостого хода форвардера.

Лесозаготовки с использованием харвардера (рис. 6)

Решающая процедура:

$$r(b_3) = [M(b_2(2)) < f_1 \rightarrow M(b_3) := 0; M(b_2(2)) \geq f_1 \rightarrow M(b_3) := 1].$$

Символьный вариант схемы на рис. 6:

$$d_1 = (T_E(b_5, b_1); f_1(M(b_5(1))); -);$$

$$d_2 = (T_E(b_1, b_2); f_2(M(b_1(1))); M(b_2(1)) := f_3(M(b_1(1)));$$

$$d_3 = (X_E(b_3, b_2, b_4, b_5); f_4(M(b_2(1))); M(b_2(2)) := M(b_2(2)) + f_5(M(b_2(1))),$$

$$M(b_5(1)) := f_{10});$$

$$d_4 = (T_E(b_4, b_6); f_6; -);$$

$$d_5 = (F_E(b_6, R_{E1}, b_7); f_7(M(b_6(2))); |R_{E2}| := |R_{E2}| + f_8(M(b_6(2))), M(b_7(2)) := 0);$$

$$d_6 = (T_E(b_7, b_5); f_9; M(b_5(1)) := f_{10}).$$

Расшифруем используемые в этих формулах функции:

$f_1(x_1)$ – функция продолжительности валки дерева (x_1 – объем древесины на соответствующей операции);

$f_2(x_1)$ – функция продолжительности обрезки сучьев;

$f_3(x_1)$ – функция потерь при обрезке сучьев;

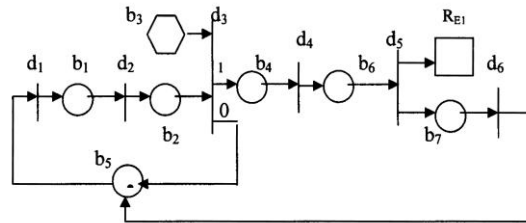


Рис. 6. Модель лесозаготовки с использованием харвардера: b_5 – валка дерева, b_1 – обрезка сучьев, b_2 – заготовка сортиментов; b_4 – транспортировка сортиментов; b_6 – разгрузка сортиментов; b_7 – холостой ход; R_{E1} – общий объем сортиментов на погрузочном пункте; описатели меток: $M(b_i(1))$ – объем древесины на соответствующей операции; $M(b_i(2))$ – объем древесины на харвардере

$f_4(x_1)$ – функция продолжительности заготовки и загрузки сортиментов;

$f_5(x_1)$ – функция потерь при заготовке сортиментов;

f_6 – функция продолжительности транспортировки;

$f_7(x_1)$ – функция продолжительности разгрузки сортиментов;

$f_8(x_1)$ – функция потерь при разгрузке сортиментов;

f_9 – функция продолжительности на холостой ход;

f_{10} – функция объема срезаемого дерева.

Таким образом, с помощью аппарата E-сетей наглядно и однозначно отображается динамика параллельных процессов функционирования лесных машин.

Полученные формальные модели были реализованы с помощью специализированных средств моделирования GPSS.

Рассмотрим имитационное моделирование E-схемы (см. рис. 1). Исходя из условий эксплуатации реальных комплексов машин, нами приняты следующие исходные данные: средний объем дерева $0,35 \text{ м}^3$, средний объем перевозимой пачки 10 м^3 , средняя продолжительность рабочего хода трелевочной машины 65 мин, средняя продолжительность холостого хода 15 мин.

В результате моделирования получен ряд статистических данных:

а) распределение объема межоперационного запаса деревьев на лесосеке (рис. 7);

б) распределение объема межоперационного запаса у сучкорезной машины (рис. 8).

В целом результаты моделирования соответствуют реальным показателям, что подтверждает адекватность используемого математического и программного обеспечения.

При широком внедрении систем интеллектуальной поддержки принятия решений в лесном секторе станут актуальными и вопросы автоматизации разработки имитационных алгоритмов. Известны методики автоматизации перехода от функциональных моделей процессов к сетям Петри [4],

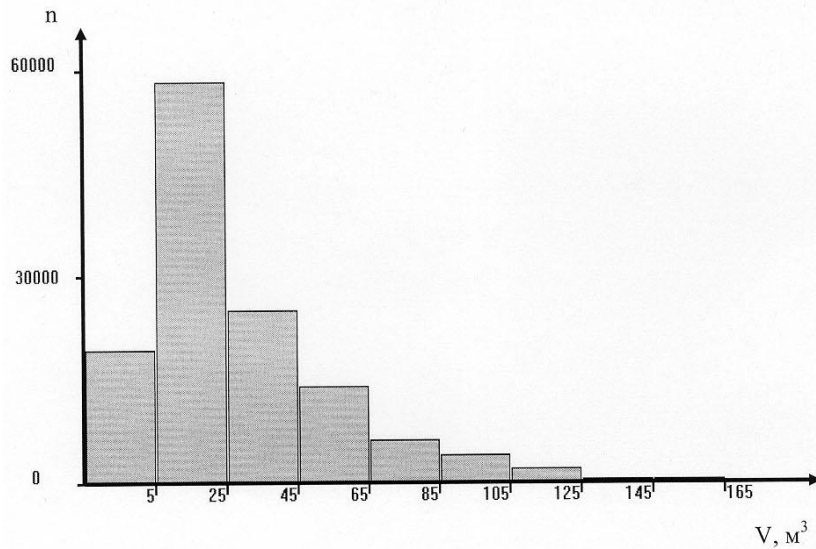


Рис. 7. Распределение объема межоперационного запаса деревьев на лесосеке (n – частота, V – объем)

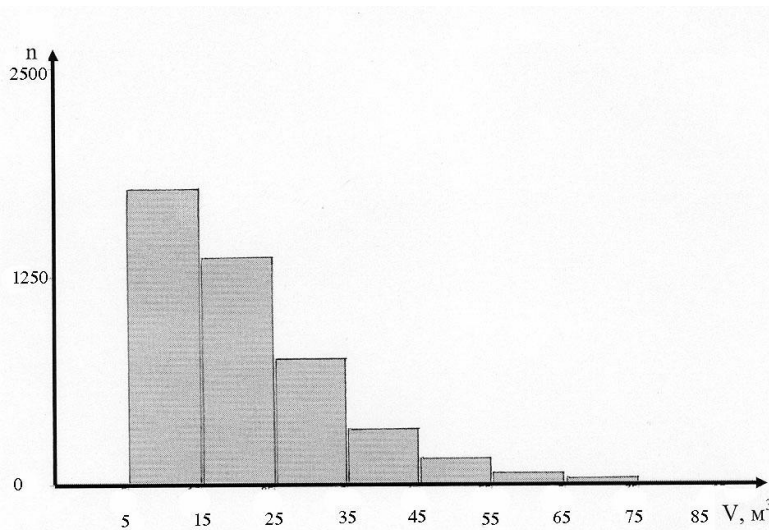


Рис. 8. Распределение объема межоперационного запаса деревьев у сучкорезной машины

которые позволяют генерировать сети из SADT и DFD диаграмм. Для условий лесного сектора нами разработаны функциональные модели [2] процессов, являющиеся основой для перехода к E-сетям. Генерация моделирующих алгоритмов из E-сетей возможна различными методами. Нами проанализированы и обоснованы основные подходы к автоматической генерации имитационных моделей комплексов лесных машин. Так, выявлены следующие соответствия между элементами E-сети и объектами GPSS [3, 6, 7]:

1. Метка E-сети может быть представлена динамическим объектом GPSS, т.е. транзактом.
2. Описатели меток аналогичны параметрам транзактов GPSS.
3. Позиция E-сети идентична накопителю единичной емкости или каналу.
4. Решающие позиции $b_i \cap B_R$ в зависимости от принадлежности к множеству B_P реализуются двумя способами: а) если $b_i \cap B_P$, то b_i эквивалентна набору объектов типа булевых переменных; б) если $b_i \cap B/B_P$, то b_i может быть представлена накопителем единичной емкости или каналом.
5. Временные параметры переходов $t(d_i)$ реализуются ADVANCE.
6. Операции вычисления предикатов соответствует применение блока TEST, изменяющего маршруты транзактов в сочетании с булевыми переменными.
7. Операции процедуры перехода над описателями меток выполняются с помощью блоков ASSIGN в сочетании с арифметическими переменными.
8. Хранение значений описателей меток и ресурсов можно имитировать путем записи значений параметров транзактов в ячейки хранимых значений с помощью блока SAVEVALUE.
9. Процессы синхронизации движения меток через переход и удаления меток из решающей позиции $b_i \cap B_R$ могут быть обеспечены с помощью логических переключателей (LOGIC S и LOGIC R).
10. Макропозиция генератора аналогична блоку GENERATE.
11. Макропозиция поглощения функционально идентична блоку TERMINATE.
12. Макропозиция очереди может интерпретироваться в GPSS записью транзакта в цепь пользователя.

Выводы

1. Применение математического аппарата сетей Петри позволит формализовать реальные процессы и повысить качество предложенных моделей работы комплексов лесных машин.
2. Модели, построенные на основе E-сетей, могут быть реализованы на различных инструментальных средствах моделирования (GPSS, Arena и т.п.), причем могут быть рассмотрены алгоритмы автоматического создания программных моделей.
3. Внедрение технологий автоматизированной генерации имитационных моделей будет способствовать проектированию и внедрению систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1998. – 178 с.
2. Гурьев А.Т., Абрамова Л.В., Кузнецова Е.А. Функциональное моделирование процессов лесного комплекса. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 123 с.

3. *Гурьев А.Т.* и др. Моделирование лесозаготовительных процессов на GPSS / А.Т. Гурьев, Д.Л. Сизов, Е.А. Остапенко, А.А. Остапенко // Методич. указания к выполнению лабор. работ по имитационному моделированию. – Архангельск: РИО АГТУ, 1995. – 64 с.

4. *Кальянов Г.Н.* CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 320 с.

5. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

6. *Советов Б.Я.* и др. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации / Б.Я. Советов, О.И. Кутузов, Ю.А. Головин, Ю.В. Аветов // Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 256 с.

7. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем. – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

8. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 419 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 30.04.04

A.T. Gurjev, A.A. Blok

Simulation of Forest Machine Complexes Operation

It was found that use of E-networks for formalizing operation processes of machine complexes allows to increase the efficiency of simulation models development.



УДК 630*62:004.4.22

А.Т. Гурьев, С.В. Торхов, Д.В. Трубин

Торхов Сергей Васильевич родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, главный инженер Архангельской аэрофото-лесоустроительной экспедиции. Имеет более 15 печатных работ в области лесоустроительного проектирования, оценки лесов и организации лесного хозяйства.



Трубин Дмитрий Владимирович родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, сотрудник департамента ЛПК администрации Архангельской области. Имеет около 40 научных работ в области генезиса северной тайги, учета и инвентаризации лесного фонда, анализа его структуры и динамики под воздействием антропогенных факторов.



ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛЕСНОГО СЕКТОРА

Рассмотрены проблемные вопросы информационного обеспечения процессов лесного сектора, подходы к созданию интегрированной информационной среды органов управления, лесоустроительных и лесопромышленных предприятий.

Ключевые слова: лесное хозяйство, лесные ресурсы, информационные ресурсы, лесопользование, интегрированная информационная среда (ИИС), CALS (ИПИ-технологии).

Для устойчивого развития лесного сектора экономики необходима качественная и прозрачная информационная среда, наполненная исчерпывающим содержанием (информационными продуктами) и интегрированная с другими полями информационного пространства.

Потребителями информационных продуктов в лесном секторе являются: лесной бизнес, органы власти, масс-медиа (как операторы на рынке информационных услуг), предприятия лесного машиностроения, научные организации, население и общественные организации.

Структуру информационной среды, в которой функционирует лесной сектор, можно представить в виде нескольких основных блоков:

Информация о лесных ресурсах	Данные о конъюнктуре внешнего и внутреннего лесных рынков	Сведения о действующих производственных процессах, о новых технике и технологиях	Нормативно-правовая база лесного бизнеса, действующие правила налогообложения, кредитования и бухгалтерского учета	Информация о рынке инвестиционных ресурсов
------------------------------	---	--	--	--

Вопросы информационного обеспечения лесного сектора, поставленные в качестве цели настоящей работы, мы хотели бы рассмотреть на примере лесоресурсного информационного блока, в котором концентрируются сведения о качественных и количественных характеристиках лесных территорий, лесных ресурсов, их коммерческих, экологических и других свойствах. Без этих сведений невозможно осуществлять лесной бизнес. Но в то же время этот информационный блок является наиболее актуальным и проблемным. Основные подходы к построению коллективной информационной среды, предлагаемые ниже, можно отнести и к остальным блокам.

В последнее десятилетие в лесном секторе только Архангельской области появилось около одной тысячи хозяйствующих субъектов, из них 250 – арендаторы участков лесного фонда. Для достижения успеха в лесном бизнесе они должны иметь информацию о качественных, количественных и стоимостных характеристиках участков, выставленных на лесные аукционы и конкурсы, ознакомиться со свободными участками лесного фонда, детально изучить полученные в пользование лесные ресурсы и выбрать правильные направления их использования.

Однако развитие инфраструктуры рынка информационных продуктов отстает от роста потребности в нем.

Сегодня в лесном информационном блоке используют следующие продукты:

- материалы Государственного учета лесного фонда;
- агрегированные данные о лесах;
- таксационное повыведельное описание лесного фонда, в том числе с дополнительной целевой информацией;
- материалы о пространственном размещении лесных ресурсов (лесные карты, схемы, планшеты, материалы дистанционного зондирования земной поверхности);
- данные лесхозов о внесении текущих изменений в материалы лесоустройства;
- данные лесоустройства, материалы отвода и статистические материалы о сортиментной и товарной структурах эксплуатационного фонда;
- стоимостные оценки лесных ресурсов;
- расчетные данные о возможном размере пользования лесным ресурсом в участке леса;
- оценки природоохранной ценности участка леса;
- лесостроительные проекты организации и развития лесного хозяйства и лесопользования, планы рубок, другие проектные разработки;
- данные научных исследований;
- другие специальные, нестандартные, целевые материалы.

Кроме информационных продуктов, в сфере отношений участвуют каналы связи и передачи информации, базы данных, архивы, библиотеки и прочее. Все это является объектом имущественных и авторских прав, без обозначения которых информационные ресурсы не могут вводиться в хозяйственный оборот.

К субъектам информационных отношений следует отнести производителей информационных продуктов, их собственников и пользователей. Между данными субъектами происходит интенсивный обмен (оборот) информационными продуктами как на рыночной основе, так и в административном порядке.

Информация о лесном фонде, согласно статьи 75 Лесного кодекса РФ, включает в себя только данные, полученные федеральным органом управления лесным хозяйством или организациями, подведомственными ему. Этой же статьей информация о лесном фонде, полученная за счет средств федерального бюджета, является федеральной собственностью. Поэтому в хозяйственном обороте лесного сектора находится огромный массив информационных продуктов, относящихся к федеральной собственности. Это в основном материалы лесоустройства, которые создаются за счет средств федерального бюджета. Данный оборот достаточно интенсивный, потому что леса находятся в пользовании у лесной промышленности, которая, в свою очередь, находится в частной или акционерной собственности. Правила хозяйственного оборота государственных информационных продуктов в рыночной среде лесного бизнеса устанавливаются нормативно-правовыми документами федерального органа управления лесным хозяйством (до 2001 г. – это Федеральная служба лесного хозяйства России, а после 2001 г. – Министерство природных ресурсов РФ). Данные документы регулируют оборот информационных продуктов лишь частично. В 1999 г. Правительством РФ принято специальное Постановление «Об использовании результатов научно-технической деятельности», однако полностью механизм ввода в хозяйственный оборот этого вида собственности отсутствует.

В 2003 г. Министерство природных ресурсов РФ предпринимает ряд организационных мер. В январе издается приказ «О Фонде информации по лесным ресурсам МПР России» и создании Федерального государственного учреждения «Фонд информации по лесным ресурсам» МПР России (ФГУ «Лесоинфотека»). В апреле появляются «Основные положения концепции создания единой информационно-аналитической системы природопользования и охраны окружающей среды». Одной из задач ФГУ «Лесоинфотека», по заданиям государственной лесной службы МПР России, определено обеспечение органов государственной власти Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и граждан информацией в области лесных ресурсов. Основные положения концепции посвящены интеграции информационных потоков и созданию единого информационного пространства.

Оба документа предусматривают меры государственного управления информацией, рассматривая ее как государственный ресурс. Однако практические шаги в этом плане выражаются главным образом в издании чрезвычайно ограниченного перечня информации, разрешенной для передачи на безвозмездной основе, и запрещения или ограничения передачи по режимным основаниям части картографической продукции.

Одновременно возрастает доля частных информационных продуктов, произведенных по заказам лесопромышленных компаний для решения конкретных задач в лесном бизнесе. Иногда их производят с использованием государственных информационных ресурсов. Они не всегда достаточно стандартизированы и достоверны, но более доступны.

Надо отметить, что упомянутые выше ограничения режимного порядка в части передачи географической информации входят в явное противоречие с увеличением доступности широкому кругу пользователей средств геопозиционирования и материалов дистанционного зондирования Земли.

На рынке информации, как и на любом другом рынке, искусственные ограничения оборота продукции приводят к потерям государственных законопослушных организаций. Заказчики информации находят исполнителей среди частных коммерческих структур или побуждают государственные организации, которые располагают соответствующей информацией, работать в сфере бизнеса без достаточных правовых оснований.

Статьей 47 Лесного кодекса РФ предусмотрены полномочия субъекта Российской Федерации по информационному обеспечению населения о состоянии лесного фонда. В то же время информационные ресурсы, как объекты федеральной собственности, находятся в ведении федеральных структур. Механизмы передачи их региональным органам государственной власти не предусмотрены. Это еще одна из проблем информационных отношений в лесном секторе.

По мнению профессора В.Ю.Зайченко (Природно-ресурсные ведомости. – 2004. – март (№ 9-10)), эти проблемы имеют три варианта решения: государственное управление процессом, рыночный и государственно-рыночный пути. Рассмотрев их применительно к лесному сектору экономики в условиях многолесного региона, мы нашли, что наиболее приемлемым в настоящее время является путь государственного управления процессом информационного обеспечения лесного сектора с дальнейшим переходом к государственно-рыночному. В соответствии с ним необходимо принять ряд политических и управленческих решений на федеральном и региональном уровнях государственной власти:

1. Организовать постановку на баланс объектов научно-технической продукции и интеллектуальной собственности в соответствии с нормативными документами Минфина РФ.

2. Наделить правом распоряжения этими видами государственной собственности специально уполномоченные государственные органы.

3. Установить правила лицензирования или аккредитации организаций, которые участвуют в производстве информационных продуктов и вводе их в хозяйственный оборот.

4. Установить порядок распределения доходов от реализации на рынке интеллектуальных ценностей между участниками процесса, включая государство, если в этом процессе используются государственные информационные ресурсы или бюджетное финансирование, а также порядок определения рыночной стоимости.

5. Определить порядок обмена информационными ресурсами между федеральными и региональными уровнями власти для обеспечения последним возможности осуществления ими государственных полномочий по информационному обеспечению населения и контролю в сфере управления использованием, охраной, защитой и воспроизводством лесов.

6. Определить порядок использования информации о федеральном лесном фонде, полученной по договорам с негосударственными структурами, с учетом сохранения их имущественных прав, авторских прав производителя информационного продукта и интересов государства.

7. Пересмотреть режимные ограничения в части передачи информации широкому кругу лесопользователей.

Структурные изменения, происходящие в лесопромышленном комплексе России и связанные с интеграцией промышленных предприятий путем создания концернов, холдингов и промышленных групп на базе существующих предприятий ЛПК, предполагают создание единого корпоративного информационного пространства. Уровень и принципы автоматизации управления такими объединениями традиционны и аналогичны подходам в других отраслях промышленности. Лесные ресурсы воспринимаются как исходное сырье для более глубокой переработки, а информация о них при включении леспромхозов в состав холдингов используется не полностью. Для лесоустроительных и лесозаготовительных предприятий информация о лесных ресурсах является зачастую основой при принятии управленческих решений.

Главным и наиболее точным источником лесной информации служат материалы лесоустройства. Однако традиционные технологии лесоустройства имеют циклический характер. Продолжительность цикла между инвентаризациями 10 ... 15 лет. За этот срок часть данных значительно устаревает, при этом «срок годности» зависит от требуемого уровня достоверности, интенсивности биологического роста лесной растительности, изменений в законодательстве и других факторов.

Есть технологии непрерывного лесоустройства, позволяющие оперативно обновлять информацию [1], однако их проведение сдерживает относительно высокая стоимость работ и, что более важно, незаинтересованностью ни государства, ни большинства лесопользователей. Среди последних сравнительно немного тех, кто разрабатывает долгосрочные планы, и практически нет нуждающихся в разработке моделей роста леса для управления лесными ресурсами. К сожалению, интересы большинства лесопользователей ограничиваются текущими потребностями, решаемыми более простыми и дешевыми методами отвода лесосек.

Современные методы лесоустройства предполагают широкое использование ГИС-технологий, аэрокосмических снимков, алгоритмов актуализации запасов древостоя [2]. Однако они с трудом внедряются в производство.

На наш взгляд, реальная актуализация таксационной информации и внедрение непрерывного лесоустройства возможны только тогда, когда бу-

дет обеспечена политическая устойчивость долгосрочной аренды или концессии. Тогда эти вопросы будут решены путем совместной работы основных субъектов использования и изменения информации о лесных ресурсах при руководстве и контроле со стороны государственных органов, например лесоустроительных экспедиций.

Производителем информационных продуктов по лесным ресурсам должны быть лесхозы и лесопользователи с различными формами собственности. Подобно необходимости проведения добровольной лесной сертификации, внедрения систем управления качеством ISO 9000 и экологического стандарта ISO 14000, необходимость организации и непрерывной актуализации информационной базы лесных ресурсов понятна и не имеет альтернативы. Это позволит повысить эффективность управления процессами в лесном секторе, а также обеспечить информационную поддержку приведенных выше стандартов.

Совместная работа по созданию и использованию информационных продуктов возможна в рамках единого информационного пространства.

Современные методы информационной интеграции информационных систем (ИС) реализуются на основе CALS-технологий. CALS – это совокупность принципов и технологий информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях. Русскоязычный аналог понятия CALS – информационная поддержка жизненного цикла изделий (ИПИ). Терминами-синонимами, появившимися в последние годы в технической литературе, следует считать также: PLM-поддержка жизненного цикла изделий, CRM-управление взаимодействия с заказчиком, SCM-управление взаимодействиями с поставщиками, которые в разной степени реализуют функциональные возможности CALS.

Главным принципом CALS-технологий является информационная интеграция, которую реализуют с помощью интегрированной информационной среды (ИИС). Она представляет собой совокупность распределенных баз данных с реализацией стандартов по представлению и обработке информации. Созданная информация находится в ИИС в одном экземпляре, сохраняя актуальность и целостность [3].

В основе ИИС лежит использование открытых архитектур, международных стандартов, совместных хранилищ данных и апробированных программно-технических средств.

Единое информационное пространство обеспечивается посредством унификации формы и содержания информации о конкретных изделиях и процессах [3]. Унификация формы достигается использованием стандартных форматов и языков представления в межпрограммных обменах и при документировании, а унификация содержания обеспечивается разработкой онтологий приложений, закрепляемых в прикладных CALS-протоколах.

Информационная интеграция CALS основана в первую очередь на использовании международных стандартов [4]. Для ИИС лесных ресурсов наибольшую важность представляют следующие группы стандартов:

1. Функциональные стандарты предназначены для описания бизнес-процессов предприятия и их влияния на данные об изделии. Они определяют процедуру функционирования ИИС. Примеры: известная методология функционального моделирования IDEF0 (FIPS 183), задающая способ описания процессов; спецификации коалиции производителей workflow-систем (Workflow Management Coalition WfMC) – способ представления и обмен данными о рабочих потоках (workflow); стандарты календарного планирования. Вопросы функционального моделирования лесных процессов рассмотрены нами в работе [1].

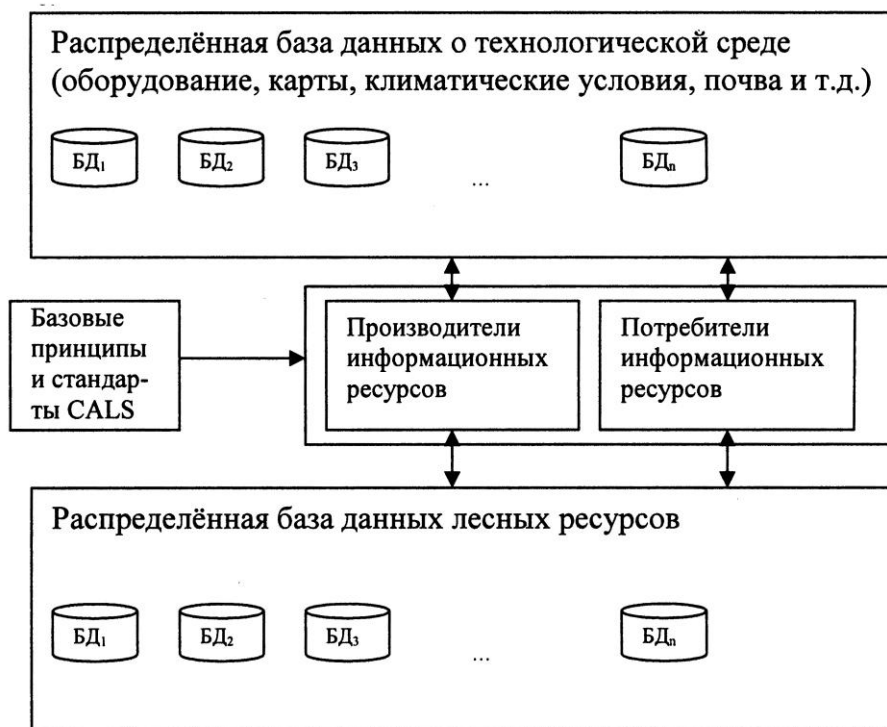
2. Информационные стандарты предназначены для классификации структуры данных об изделии и процессах. Базовым является международный стандарт для обмена данными об изделии ISO 10303 STEP.

3. Стандарты на программную архитектуру рассматривают архитектуру программных средств, позволяющую им обмениваться данными без непосредственного участия человека. Примеры: CORBA (Common Object Request Broker Architecture), DCOM (Distributed Component Object Model).

4. Коммуникационные стандарты предназначены для описания способов физической передачи данных между компьютерными системами. Основой коммуникационных ИПИ-стандартов являются стандарты сети Internet.

5. Стандарты на интерфейс с пользователем описывают интерфейс, который программные системы предоставляют для диалога с пользователем, а также процедуры их взаимодействия.

Обобщенная схема ИИС лесного сектора представлена на рисунке.



Обобщенная схема организации единой информационной среды лесного сектора

Использование технологий информационной интеграции в лесном секторе с учетом зарубежного и российского опыта [5] позволит повысить эффективность работы предприятий за счет преодоления телекоммуникационных барьеров; расширить рынки сбыта при использовании современных информационных технологий и средств связи; отработать технологии документооборота и обмена данными без их бумажного документирования.

Задачи развития информационной среды лесного сектора:

- адаптация лесоустройства как базового элемента информационной системы в новых условиях административной реформы;
- создание условий для появления новых производителей информационных продуктов и трейдеров рынка интеллектуальных ценностей, установление правил их лицензирования и аккредитации;
- создание баз и банков данных о лесных ресурсах;
- совершенствование правовой базы хозяйственного оборота информационных продуктов, стандартизация требований к ним и унификация с международными стандартами;
- создание инфраструктуры рынка информационных продуктов;
- коммуникация производителей информационных продуктов со структурами органов государственной власти в субъектах РФ в целях обеспечения гарантий конституционных прав граждан на достоверную

информацию о состоянии окружающей природной среды и осуществления контроля в сфере использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов;

охрана и защита информационных продуктов от несанкционированного использования, охрана прав собственности и авторских прав.

Для создания ИИС лесного сектора необходима скоординированная работа органов государственной власти, государственных предприятий (лесостроительных экспедиций, лесхозов), лесопользователей всех форм собственности, научно-исследовательских и проектных организаций.

В рамках этой работы государственные органы должны решать вопросы нормативно правовой базы, структурирования информации, координации создания баз и банков данных о лесных ресурсах, подготовки кадров для информатизации предприятий лесного сектора. Задача лесопромышленных предприятий – адаптация и внедрение в производство технологий информационной интеграции, генерация и актуализация информационных ресурсов на основе типовых программных решений.

Выводы

1. Для координации и активизации работ по формированию ИИС необходимо создать при администрации регионов рабочие группы для обработки базовых программно-аппаратных технологий информационной поддержки предприятий лесного сектора.

2. Включить в региональные программы развития ЛПК разработку концепции и план работ по внедрению информационных технологий в лесной сектор экономики.

3. Реализовать пилотные проекты по разработке и внедрению ИИС для конкретных объединений лесных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев А.Т. и др. Функциональное моделирование лесного хозяйства / А.Т. Гурьев, Л.В. Абрамова, С.В. Торохов, Д.В. Трубин // Лесн. журн. – 2004. – № 1. – С. 135–144. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Ердяков С.В., Трубин Д.В. Проблемы северотаежного лесостроительства и эффективного использования лесных информационных ресурсов с применением современных технологий.

3. Любимов А.В., Тетюхин С.В., Минаев В.Н. ГИС в лесостроительстве, лесном хозяйстве и охране природы (Управление ООПТ) // Лесная таксация и лесостроительство: Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 2000.

4. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

5. Колчин А.Ф. и др. Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, Н.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.

6. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. – М.: ООО Издат. дом «МВМ», 2003. – 264 с.

Архангельский государственный

технический университет

Архангельская аэрофотоустроительная
экспедиция

Администрация
Архангельской области

Поступила 07.05.04

A.T. Gurjev, S.V. Torkhov, D.V. Trubin

Information Support of Forest Sector Processes

Problematic questions of the information support of forest sector processes are considered as well as approaches to creating the integrated information environment for forest-management bodies and forest-harvesting enterprises.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 621.1.016

Э.Н. Сабуров, С.Г. Горохов, В.К. Любов

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



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики. Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.

**АЭРОДИНАМИКА
ЦИКЛОННОГО ДВУХКАМЕРНОГО ПРЕДТОПКА
ДЛЯ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

Приведены результаты экспериментального исследования аэродинамики изометрической модели циклонного предтопка для сжигания древесных отходов; определены оптимальные значения его наиболее важных размеров.

Ключевые слова: предтопок, циклон, камера, отходы, эффективность, тангенциальная скорость, осевая скорость, биомасса, пережим, решетка, поток.

Процесс горения в циклонном двухкамерном предтопке для сжигания древесных отходов [3], главным образом, определяется организацией движения газов – его аэродинамикой. Аэродинамика циклонных устройств, независимо от их назначения, играет определяющую роль в организации рабочего процесса [1, 2, 4]. Для исследования особенностей аэродинамики циклонного предтопка* на кафедре теплотехники АГТУ создан экспериментальный стенд (рис. 1). Основным элементом стенда является модель предтопка, состоящая из циклонной верхней камеры, в которой должно происходить основное выгорание топливных частиц, и нижней, где дожигаются крупные фракции в слое на конической колосниковой решетке. Для увеличения продолжительности пребывания топливных частиц в рабочем объеме предтопка и повышения полноты их выгорания камеры разделены пережимом, проходной относительный диаметр которого $\bar{d}_r = d_r / D_e$ (D_e – диаметр рабочего

* Работа выполнена при поддержке администрации Архангельской области в рамках региональной научно-технической программы и программы «Поддержка научно-технической политики регионов» Минпромнауки.

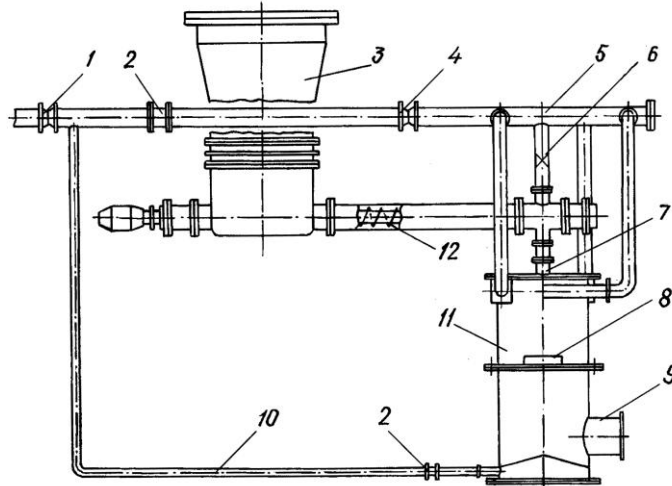


Рис. 1. Схема стенда для исследования аэродинамики циклонного предтопка: 1 – общая измерительная диафрагма; 2, 6 – шиббер; 3 – бункер древесных отходов; 4 – диафрагма на трубопроводе первичного воздуха; 5 – коллектор первичного воздуха; 7 – патрубок подвода древесных отходов; 8 – буртик на пережиге; 9 – патрубок отвода продуктов сгорания; 10 – трубопровод вторичного воздуха; 11 – модель циклонного предтопка; 12 – шнековый питатель

объема циклонной камеры и всей цилиндрической части предтопка) в опытах варьировали от 0,2 до 1,0. Пережиг имеет буртик, благодаря которому в реальной топке предполагается создать очаги слоевого горения топлива, благотворно влияющего на процесс горения в предтопке. В опытах высота буртика h_b варьировалась от 0 до 70 мм. Относительная длина камеры $\bar{L}_e = L_e / D_e$ изменялась в диапазоне от 1,21 до 1,72, при этом общая длина предтопка L_n сохранялась равной 810 мм. Воздух в циклонную камеру подавали через тангенциальные шлицы, расположенные в одной поперечной плоскости и имеющие размеры поперечного сечения 70×25 мм. Количество шлицев $a_{вх}$ могло быть 1, 2, 4, при этом относительная площадь входа потока $\bar{f}_{\text{вх}} = 4f_{\text{вх}} / \pi D_e^2 = 0,0247; 0,0495; 0,099$. Отверстия в конической колосниковой решетке выполнены таким образом, что они обеспечивали подкрутку газов над ее поверхностью по направлению вращения основного потока. Расход воздуха, подаваемого под решетку, составлял 8 ... 10 % от его общего объема. Патрубок, предназначенный для отвода нагретых газов в объем топочной камеры котлоагрегата, имеет относительный диаметр $\bar{d}_{\text{отв}} = d_{\text{отв}} / D_e = 0,73$ и длину 200 мм. Для ввода древесных отходов в рабочий объем циклонной камеры совместно с первичным воздухом (или без него) служит специальный патрубок. Подачу топлива осуществляли из бункера с помощью шнекового питателя. Диаметр шнека равен 78 мм. Расход топлива регулировали изменением частоты вращения шнека.

Модель предтопка, предназначенная для исследования «холодной» аэродинамики, изготовлена из органического стекла, что давало возможность вести визуальные наблюдения за поведением топливовоздушной смеси. Все ее перемещения фиксировали на видеокамеру с последующим переносом снятого материала на

персональный компьютер для дальнейшей обработки. Модель имела необходимое количество штуцеров для крепления пневмометрических цилиндрического и шарового зондов, а также дренажные отверстия для замера статического давления. Сечения замеров полей скоростей и давлений расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Важнейшим геометрическим параметром циклонной камеры, с точки зрения ее аэродинамики [1, 2, 4], является относительный диаметр выходного отверстия рабочего объема или пережима выходного торца \bar{d}_i . В опытах установлено, что в пределах рассмотренных значений \bar{d}_i при увеличении диаметра проходного отверстия пережима уровень тангенциальных скоростей в центральной части потока снижается, а радиус $\bar{r}_{\varphi m}$, соответствующий положению максимального значения тангенциальной скорости $\bar{w}_{\varphi m} = w_{\varphi m} / v_{\text{вх}}$ ($w_{\varphi m}$ – максимальное значение тангенциальной скорости в сечении замера, $v_{\text{вх}}$ – средняя скорость во входных каналах), смещается от оси камеры к ее боковой поверхности. Происходит существенная перестройка (рис. 2) профилей безразмерных тангенциальной $\bar{w}_{\varphi} = w_{\varphi} / v_{\text{вх}}$ (w_{φ} – тангенциальная компонента полной скорости) и осевой $\bar{w}_z = w_z / v_{\text{вх}}$ (w_z – аксиальная компонента полной скорости) компонент полной скорости, снижение общего уровня \bar{w}_{φ} и максимального значения тангенциальной скорости, а также увеличение радиальной протяженности зоны квазитвердого вращения. Вращение потока практически осесимметричное.

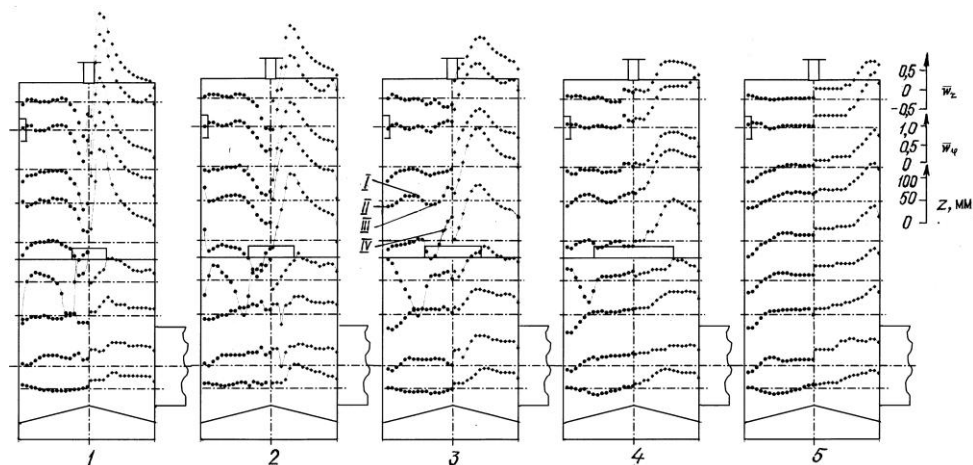


Рис. 2. Распределения тангенциальных и осевых компонент полной скорости потока в рабочем объеме циклонного предтопка при различных значениях относительного диаметра пережима \bar{d}_i : 1 – 0,20; 2 – 0,30; 3 – 0,46; 4 – 0,60; 5 – 1,00; I – кольцевой обратный вихрь; II – периферийный обратный вихрь; III – осевой обратный вихрь IV – кольцевой выходной вихрь (здесь и далее, на рис. 3–5, координата z совпадает с осью циклонной камеры и отсчитывается от ее глухого торца; распределения \bar{w}_{φ} приведены с правой стороны от оси камеры, а \bar{w}_z – с левой; сечения замеров скоростей показаны штрихпунктирными линиями; за положительное направление осевой скорости \bar{w}_z принято направление к глухому верхнему торцу, за отрицательное – к выходному отверстию)

Влияние параметра \bar{d}_i в диапазоне его значений от 0,2 до 0,6 на поток в пристенной зоне существенно меньше. При значениях относительного диаметра выходного отверстия, близких к 1, основная часть газов сосредоточена у боковой поверхности камеры. Это обусловлено в основном постепенным перерождением циклонного потока в течение, подчиняющееся закономерностям распространения полуограниченных струй вдоль криволинейной поверхности.

Осевой обратный вихрь начинает формироваться в камере дожигания. (Обозначение вихрей в соответствии с общепринятой терминологией представлено на распределениях \bar{w}_z в варианте III ($\bar{d}_i = 0,46$) на рис. 2). В реальном предтопке он должен играть роль стабилизатора горения. Его взаимодействие с выходным вихрем циклонной камеры и периферийным прямым камере дожигания, а также значительная несимметрия общей картины течения в камере дожигания, создаваемая односторонним периферийным выводом газов, должны благоприятствовать горению топлива на колосниковой решетке и перемешиванию продуктов сгорания.

При выбранной схеме подвода вторичного воздуха в циклонную камеру периферийный вихрь, вероятно, будет постоянно подхватывать с пережима недогоревшие частицы топлива и, трансформируясь в кольцевой обратный вихрь, вовлекать их в процесс горения в рабочем объеме. Тем самым будут уменьшены очаги слоевого горения топлива на пережиме, что должно увеличить срок его службы.

Осевые скорости потока по величине значительно меньше вращательных, но их влияние на организацию горения в предтопке должно быть весьма существенным.

Значения основных аэродинамических характеристик циклонной камеры предтопка при различных значениях диаметра выходного отверстия пережима d_n представлены в табл. 1.

В табл. 1 использованы следующие обозначения: $\bar{p}_{\bar{n},\bar{\epsilon}} = 2p_{\bar{n},\bar{\epsilon}} / \rho_{\bar{a}\bar{o}} v_{\bar{a}\bar{o}}^2$ – среднее безразмерное избыточное статическое давление на боковой поверхности циклонной камеры; $\zeta_{\bar{a}\bar{o}} = 2\Delta P_i / \rho_{\bar{a}\bar{o}} v_{\bar{a}\bar{o}}^2$ – суммарный коэффициент сопротивления циклонного предтопка (ΔP_n – перепад полного давления в предтопке, $\rho_{\text{вх}}$ и $\rho_{\text{фм}}$ – плотности потока в щлицах и на радиусе $\bar{r}_{\text{фм}}$); $\zeta_{\text{фм}} = 2\Delta P_i / \rho_{\text{фм}} w_{\text{фм}}^2$ – коэффициент аэродинамической эффективности циклонного предтопка.

Представленные в табл. 1 данные $\bar{w}_{\text{фм}}$ являются осредненными по высоте рабочего объема циклонной камеры.

Опытные значения $\zeta_{\bar{a}\bar{o}}$ могут быть аппроксимированы уравнением

$$\zeta_{\bar{a}\bar{o}} = 983,67\bar{d}_i^4 - 2234,8\bar{d}_i^3 + 1779,9\bar{d}_i^2 - 612,21\bar{d}_i + 85,038. \quad (1)$$

Таблица 1

Аэродинамические характеристики циклонной камеры при различных \bar{d}_n

\bar{d}_n	$\bar{w}_{\text{фм}}$	$\bar{p}_{\bar{n},\bar{\epsilon}}$	$\zeta_{\bar{a}\bar{o}}$	$\zeta_{\text{фм}}$
0,20	2,74	14,80	17,49	2,33
0,30	1,93	7,15	9,21	2,47
0,46	1,77	6,18	6,58	2,10
0,60	1,08	2,12	3,27	2,81
1,00	0,39	0,41	1,69	11,11

Исходя из анализа полученных данных, главным образом величины коэффициента $\zeta_{\varphi m}$, можно сделать вывод, что наиболее эффективным в аэродинамическом отношении является значение диаметра пережима в пределах 0,4 ... 0,5. Заметим, что ΔP_{Π} – разность полных давлений на входе в предтопок (в шлицах) и на выходе из патрубка отвода продуктов сгорания, поэтому значения $\zeta_{\text{вх}}$, определенные по уравнению (1) несколько больше, чем по рекомендациям [4]. Влияние камеры дожига проявляется и на значениях других характеристик циклонной камеры предтопка.

Представленные данные показывают, что основным видом движения газа в циклонной камере является вращательное. Вращение потока отмечено и в камере дожига крупных частиц топлива, однако уровень вращательных скоростей здесь ниже. Схема движения газов в камере дожига еще более сложная из-за одностороннего вывода газов и взаимного проникновения закрученных потоков из циклонной камеры в камеру дожига и наоборот. При выводе газов из рабочего объема камеры дожига в поворачивающийся на 90 ° газопровод наблюдается нарушение осевой симметрии течения, особенно, в нижней части. Наибольшую асимметрию имеют поля осевых скоростей.

Изменение основных осредненных по длине циклонного предтопка характеристик потока $\bar{w}_{\varphi m}$, $\bar{w}_{\varphi i}$, $\bar{r}_{\varphi m}$, $\bar{p}_{\text{н.э}}$ в зависимости от параметра \bar{d}_i (пределы изменения от 0, до 0,6) описывается следующими уравнениями:

$$\bar{w}_{\varphi m} = -102,84 \bar{d}_i^3 + 126,46 \bar{d}_i^2 - 51,85 \bar{d}_i + 8,88; \quad (2)$$

$$\bar{w}_{\varphi i} = -15,89 \bar{d}_i^3 + 15,56 \bar{d}_i^2 - 3,74 \bar{d}_i + 1,06; \quad (3)$$

$$\bar{r}_{\varphi m} = 1,02 \bar{d}_i - 0,0609; \quad (4)$$

$$\bar{p}_{\text{н.э}} = -893,41 \bar{d}_i^3 + 1145 \bar{d}_i^2 - 483,13 \bar{d}_i + 72,78. \quad (5)$$

В уравнении (3) $\bar{w}_{\varphi i} = w_{\varphi i} / v_{\text{аэ}}$ – тангенциальная скорость на границе периферийной (пристенной) зоны течения [1, 2, 4].

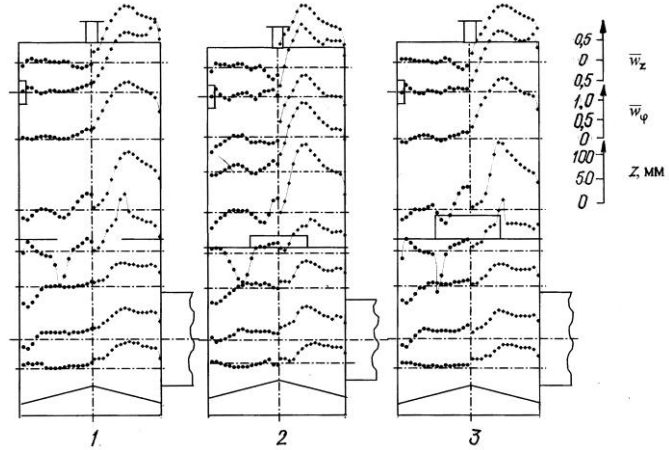
При всех рассмотренных \bar{d}_i изменение характеристик вдоль оси циклонной камеры сравнительно невелико. В камере дожига они также слабо изменяются по длине, но резко отличаются по величине от значений в циклонной камере.

Таблица 2

Изменение аэродинамических характеристик потока вдоль оси предтопка

\bar{z}	$\bar{w}_{\varphi m}$	$\bar{w}_{\varphi i}$	$\bar{r}_{\varphi m}$	$\bar{p}_{\text{н.э}}$
0,055	1,67	1,02	0,40	5,30
0,129	1,68	1,23	0,40	5,34
0,253	1,67	1,02	0,40	5,28
0,333	1,95	0,95	0,40	6,75
0,450	1,92	0,92	0,46	6,64
0,555	0,90	0,56	0,46	1,59
0,651	0,70	0,50	0,40	0,97
0,777	0,65	0,43	0,46	0,85
0,864	0,62	0,38	0,46	0,78

Рис. 3. Распределения \bar{w}_φ и \bar{w}_z в рабочем объеме циклонного предтопка при различной высоте буртика пережима h_6 : 1 – 0; 2 – 35; 3 – 70 мм



В табл. 2 приведены локальные значения $\bar{w}_{\varphi m}$, $\bar{w}_{\varphi n}$, $\bar{r}_{\varphi m}$, $\bar{p}_{\bar{n},\bar{\epsilon}}$ в предтопке при $\bar{d}_i = 0,46$.

Качественно аналогичный характер изменения $\bar{w}_{\varphi m}$, $\bar{w}_{\varphi n}$, $\bar{r}_{\varphi m}$, $\bar{p}_{\bar{n},\bar{\epsilon}}$ вдоль безразмерной координаты $\bar{z} = z / L_n$ наблюдался и при других значениях \bar{d}_i .

Основное предназначение буртика у выходного отверстия – уменьшить вынос топливных частиц из циклонной камеры. Как видно из рис. 3, его влияние на аэродинамику предтопка сравнительно невелико, но, тем не менее, можно отметить, что при $h_6 = 35$ мм наблюдается наиболее высокий общий уровень тангенциальных скоростей, а следовательно, и мощности осевого обратного тока. Оба эти эффекта, с точки зрения интенсификации горения в предтопке, несомненно, являются положительными.

Важный геометрический параметр, оказывающий существенное влияние на аэродинамику предтопка и легко регулируемый, – относительная площадь входа потока $\bar{f}_{\bar{a}\bar{o}}$. Увеличение $\bar{f}_{\bar{a}\bar{o}}$ приводит к повышению уровня тангенциальных и аксиальных скоростей, статического и полного давлений, а также $\bar{r}_{\varphi m}$ (табл. 3, рис. 4).

Зависимости $\bar{w}_{\varphi m}$, $\bar{w}_{\varphi n}$, $\bar{r}_{\varphi m}$, $\bar{p}_{\bar{n},\bar{\epsilon}}$, $\zeta_{\bar{a}\bar{o}}$ от $\bar{f}_{\bar{a}\bar{o}}$ при $\bar{d}_i = 0,46$ и $\bar{L}_\epsilon = 1,5$ описываются следующими уравнениями:

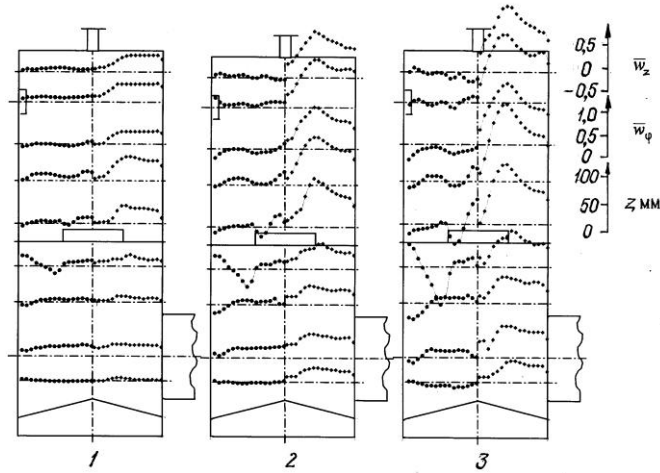
$$\bar{w}_{\varphi m} = -203,21 \bar{f}_{\bar{a}\bar{o}}^2 + 41,45 \bar{f}_{\bar{a}\bar{o}} - 0,44; \tag{6}$$

Таблица 3

Аэродинамические характеристики предтопка при совместно пропорциональных изменениях $\bar{a}_{\bar{a}\bar{o}}$ и $\bar{f}_{\bar{a}\bar{o}}$

$\bar{f}_{\bar{a}\bar{o}}$	$\bar{a}_{\bar{a}\bar{o}}$	$\bar{w}_{\varphi m}$	$\bar{p}_{\bar{n},\bar{\epsilon}}$	$\zeta_{\bar{a}\bar{o}}$	$\zeta_{\varphi m}$
0,0247	1	0,46	0,52	1,35	6,37
0,0495	2	1,11	2,39	3,32	2,69
0,0990	4	1,67	5,24	9,25	3,31

Рис. 4. Распределения \bar{W}_φ и \bar{W}_z в рабочем объеме циклонного предтопка при различном числе подводов воздуха по периметру камеры $a_{\text{вх}}$: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 4



$$\bar{W}_{\varphi r} = -63,80 \bar{f}_{\dot{a}o}^2 + 18,44 \bar{f}_{\dot{a}o} + 0,01; \quad (7)$$

$$\bar{r}_{\varphi m} = 30,40 \bar{f}_{\dot{a}o}^2 - 4,27 \bar{f}_{\dot{a}o} + 0,54; \quad (8)$$

$$\bar{p}_{\text{н.}\dot{\epsilon}} = -235,05 \bar{f}_{\dot{a}o}^2 + 92,60 \bar{f}_{\dot{a}o} - 1,62; \quad (9)$$

$$\zeta_{\dot{a}o} = 543,24 \bar{f}_{\dot{a}o}^2 + 39,127 \bar{f}_{\dot{a}o} + 0,052. \quad (10)$$

Увеличение числа входных каналов $a_{\text{вх}}$, расположенных по периметру камеры, способствует повышению осевой симметрии в ядре потока [1, 2, 4]. При этом изменяются условия взаимодействия выходящих из сопел струй с ранее введенными в рабочий объем и уже вращающимися в нем газами, протяженность их активного действия, входные потери, а также потери напора, связанные с перестройкой потока в ядре (рис. 4). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что $a_{\text{вх}}$ может быть принято равным 2 или 4 с пропорциональным повышением $\bar{f}_{\dot{a}o}$.

Изменение относительной длины рабочего объема циклонной камеры $\bar{L}_{\dot{\epsilon}}$ приводит к изменению величины ее рабочего объема и площади боковой поверхности, оказывает большое влияние на структуру циклонного потока и его аэродинамические характеристики. Основные из них представлены в табл. 4.

Таблица 4

Аэродинамические характеристики циклонной камеры при различных $\bar{L}_{\dot{\epsilon}}$

$\bar{L}_{\dot{\epsilon}}$	$\bar{W}_{\varphi m}$	$\bar{p}_{\text{н.}\dot{\epsilon}}$	$\zeta_{\dot{a}o}$	$\zeta_{\varphi m}$
1,21	1,90	6,95	12,28	3,40
1,35	1,96	7,61	9,25	2,40
1,50	1,82	6,04	7,81	2,35
1,72	1,72	5,71	7,33	2,47

Увеличение \bar{L}_e приводит к снижению уровня тангенциальных скоростей. Наиболее эффективной в аэродинамическом отношении (по коэффициенту $\zeta_{\varphi m}$) является циклонная камера с $\bar{L}_e = 1,35 \dots 1,50$.

Изменение $\bar{w}_{\varphi m}$, $\bar{w}_{\varphi i}$, $\bar{r}_{\varphi m}$, $\bar{p}_{\text{н.е}}$, $\zeta_{\text{ао}}$ в зависимости от \bar{L}_e при $\bar{d}_i = 0,46$ и $\dot{\alpha}_{\text{ао}} = 4$ описывается следующими уравнениями:

$$\bar{w}_{\varphi m} = 15,50 \bar{L}_e^3 - 68,85 \bar{L}_e^2 + 100,79 \bar{L}_e - 46,76; \quad (11)$$

$$\bar{w}_{\varphi i} = 23,63 \bar{L}_e^3 - 104,45 \bar{L}_e^2 + 152,34 \bar{L}_e - 72,02; \quad (12)$$

$$\bar{r}_{\varphi m} = 1,35 \bar{L}_e^3 - 4,98 \bar{L}_e^2 + 5,66 \bar{L}_e - 1,50; \quad (13)$$

$$\bar{p}_{\text{н.е}} = 133,13 \bar{L}_e^3 - 584,65 \bar{L}_e^2 + 845,77 \bar{L}_e - 396,47; \quad (14)$$

$$\zeta_{\text{ао}} = -42,114 \bar{L}_e^3 + 212,51 \bar{L}_e^2 - 358,46 \bar{L}_e + 209,49. \quad (15)$$

Относительная длина рабочего объема предтопка оказывает определенное влияние и на общую картину движения газов в камере (рис. 5). В циклонных камерах всех рассмотренных длин существует периферийный прямой и небольшой обратный периферийные вихри, осевой обратный выходной вихрь, а также небольшой кольцевой, который формируется в результате поворота интенсивного радиального приторцевого потока у буртика пережима. Радиальный приторцевой поток наблюдается и у глухого торца. В верхней области камеры дожигания в результате взаимодействия выходного, радиального приторцевого и периферийного обратного вихрей возникает кольцевая вихревая зона. Радиальные и продольные размеры перечисленных вихревых образований в рассмотренном диапазоне \bar{L}_e незначительно изменяются в зависимости от величины этого параметра. С ростом относительной

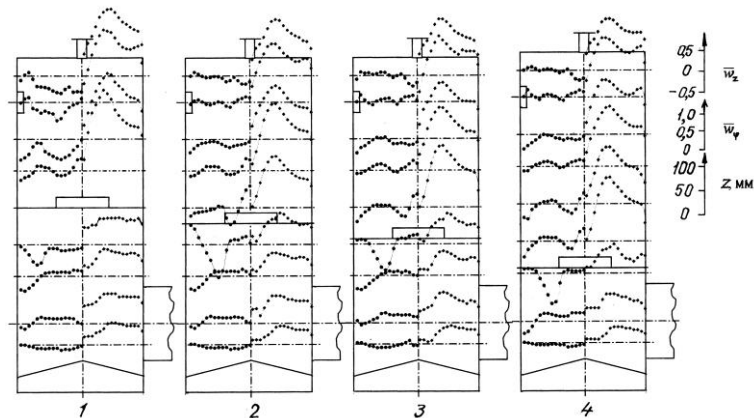


Рис. 5. Распределения \bar{w}_{φ} и \bar{w}_z в рабочем объеме циклонного предтопка при различных значениях относительной длины циклонной камеры \bar{L}_e : 1 – 1,21; 2 – 1,35; 3 – 1,50; 4 – 1,72

длины циклонной камеры уменьшаются мощность осевого обратного тока и глубина его проникновения в камеру, что отрицательно сказывается на общей аэродинамике предтопка и условиях массообмена между циклонной камерой и камерой дожигания.

Все опытные данные, представленные в данной работе, получены в области течения, близкой к автомодельной. Установлено, что повышение уровня тангенциальных скоростей с увеличением числа Рейнольдса $Re_{\dot{a}\dot{o}} = v_{\dot{a}\dot{o}} D_{\dot{e}} / \nu_{\dot{a}\dot{o}}$ ($\nu_{\dot{a}\dot{o}}$ – коэффициент кинематической вязкости потока при входных условиях) сопровождается ростом суммарного коэффициента сопротивления циклонного предтопка. Начало автомодельной области течения в камере рассмотренной конструкции наблюдается при $Re_{\dot{a}\dot{o}} \cdot 10^{-4} \approx 25,30$ (если для определения $Re_{\dot{a}\dot{o}}$ использовать формулу, приведенную в [2, 4], то получим $Re_{\dot{a}\dot{o}} \cdot 10^{-4} = 25,05$). Расхождение в опытных и расчетных значениях $Re_{\dot{a}\dot{o}}$, вероятно, связано с аэродинамическим взаимодействием циклонной камеры горения и камеры дожигания.

Таким образом, в условиях незагруженного потока наиболее аэродинамически эффективным будет циклонный предтопок со следующими геометрическими характеристиками циклонной камеры: $\bar{L}_{\dot{e}} = 1,35 \dots 1,5$; $\bar{d}_{\dot{r}} = 0,4 \dots 0,5$; $\bar{f}_{\dot{a}\dot{o}} = 0,0495$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сабуров Э.Н., Карпов С.В.* Теория и практика циклонных сепараторов, топок и печей / Под ред. Э.Н. Сабурова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 568 с.
2. *Сабуров Э.Н., Карпов С.В.* Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве / Под ред. Э.Н. Сабурова. – М.: Экология, 1993. – 368 с.
3. *Сабуров Э.Н., Любов В.К., Горохов С.Г.* Циклонное топочное устройство для сжигания отходов переработки древесной биомассы // Энергосбережение в теплоэнергетических системах: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2001. – С. 15 – 17.
4. *Сабуров Э.Н.* Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1995. – 341 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 16.06.03

E.N. Saburov, S.G. Gorokhov, V.K. Lyubov

Aerodynamics of Cyclone Double-chamber Furnace Extension for Wood Wastes Burning

The experimental study results for aerodynamics of isothermic model of cyclone furnace extension for wood wastes burning are provided; optimal values of its most important dimensions are determined.



КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3:577.1

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО БИОТЕХНОЛОГИИ В АГТУ

18–19 февраля 2004 г. в Архангельском государственном техническом университете состоялся международный научно-практический семинар «Биорешения в целлюлозно-бумажной промышленности. Сегодня, завтра».

Инициатором проведения семинара выступила компания ОАО «РОСАЛКО» (г. Москва), которая занимается продвижением и внедрением современных биотехнологических процессов в различных отраслях промышленности. В состав оргкомитета вошли также АГТУ, ОАО «АЛВИЗ» (г. Архангельск) и компании «NOVOZYMES A/S» (Дания) и «NOVOZYMES BIOLOGICALS» (Франция).

В работе семинара приняли участие специалисты предприятий целлюлозно-бумажной промышленности Северо-Западного региона России, ученые научных институтов и вузов, преподаватели, аспиранты и студенты АГТУ.

На открытии семинара с приветственным словом к участникам обратился В.В. Бреннер, председатель совета директоров ОАО «РОСАЛКО». О.М. Соколов, ректор АГТУ, выступил с презентацией университета как крупнейшего на Севере России вуза и ведущего научного центра в области химической переработки древесины.

Сообщение на тему «Состояние и перспективы развития предприятий целлюлозно-бумажной промышленности России» сделал к.т.н. А.М. Кряжев (компания «Илим Палп Энтерпрайз», г. С.-Петербург). Основное внимание в сообщении было уделено проблеме повышения эффективности производства белых видов целлюлоз, внедрению современных технологий, экологической безопасности процессов варки и отбелики целлюлозы.

Х. Лунд и Х. Педерсен, (компания «NOVOZYMES A/S»), представили доклад «Ферментные технологии и продукты для целлюлозно-бумажной промышленности». Презентацию компании «NOVOZYMES A/S» сделал Х. Лунд, директор отдела продуктов для лесной промышленности. Х. Педерсен, научный сотрудник компании, рассказала участникам семинара о применении ферментных технологий для улучшения отбелики целлюлозы и удаления смолы, а также об использовании различных ферментных препаратов в процессах переработки вторичного сырья и модификации крахмала, используемого для мелования бумаги. В качестве товарных продуктов компании «NOVOZYMES A/S», нашедших применение в производстве целлюлозы и бумаги, были представлены такие ферменты, как ксиланазы, липазы, амилазы, целлюлазы, пектиназы. В качестве перспективных ферментов для делигнификации целлюлозы перед отбелкой и очистки сточных вод рассматриваются лакказы и пероксидазы.

Практический опыт внедрения ферментных препаратов в целлюлозно-бумажной промышленности России был обобщен в докладе профессора Е.В. Новожилова (АГТУ). Наибольшее применение нашли ксиланазы, предназначенные для улучшения белимости сульфатной целлюлозы. Обработка этими ферментами проводится перед отбелкой целлюлозы, что обеспечивает снижение расхода отбеливающих химикатов и уменьшение загрязненности сточных вод хлорорганическими соединениями. При активном участии ученых АГТУ технологии обработки целлюлозы ксиланазами успешно внедрены в производство сульфатной белевой хвойной и лиственной целлюлозы на Котласском и Архангельском ЦБК. Сделан вывод, что использование ферментных технологий обеспечивает снижение затрат и повышение эффективности производства, а также решение ряда актуальных проблем предприятий ЦБК.

Новые биотехнологии и продукты, повышающие эффективность работы систем очистки сточных вод, были представлены компанией «NOVOZYMES BIOLOGICALS». Р. Требокс, генеральный менеджер Европейского отдела компании, и Дж. Чантри, технический менеджер, сообщили о применении микробиологических решений в системах

биологической очистки сточных вод промышленных предприятий. Предлагаемые решения (серия продуктов Vi-CHEM 1000) учитывают специфику каждой отрасли промышленности, включая целлюлозно-бумажную, пищевую, нефтеперерабатывающую, химическую, текстильную и металлургическую; позволяют повысить эффективность биологического окисления органических веществ в сточных водах; ускорить выход на стационарный режим при запуске или восстановлении работы очистных сооружений после временного останова, вызванного токсическим шоком, резкими изменениями концентрации загрязнений и расхода сточных вод; восстановить или запустить процесс нитрификации; проконтролировать образование неприятного запаха в отстойниках и илах, на свалках.

На основании продуктов Vi-CHEM 1000 разработана специальная серия Vi-CHEM 1005 PP, представляющая собой смесь синергетически действующих бактериальных культур, прошедших селекцию и адаптацию для использования при очистке сточных вод предприятий ЦБП.

Непостоянство состава и параметров вод, поступающих на очистные сооружения, часто является причиной резкого ухудшения качества очищенной воды, развития нежелательных форм бактерий, в частности нитчатых. Применение продукта Vi-CHEM 1005 PP позволяет достичь стабильно высокой эффективности работы систем биологической очистки промышленных сточных вод, в том числе при шоковых нагрузках, повысить качество сточных вод, снизить их негативное воздействие на окружающую среду.

В сообщении представителей компании приведены примеры промышленной реализации предлагаемых технических решений на целлюлозно-бумажных предприятиях Западной Европы. При этом удалось значительно снизить загрязненность стоков по показателям ХПК и БПК, уменьшить вынос взвешенных веществ при общей стабилизации параметров очищенных сточных вод.

Профессор Н.И. Богданович (АГТУ) в своем докладе дал оценку перспективности использования новых биотехнологических процессов на предприятиях России. Было отмечено, что отечественные целлюлозно-бумажные предприятия отличаются от западноевропейских не только большими объемами производства, но и многопрофильностью. На отдельных комбинатах имеются производства сульфатной и сульфитной беленой и небеленой целлюлозы, производимой из хвойной и лиственной древесины; бумаги разного качества и назначения; картона и других упаковочных материалов; древесноволокнистых и древесностружечных плит; фанеры разных модификаций; по переработке сульфатного мыла и таллового масла. Таким образом, состав сточных вод, подаваемых на очистку, отличается большим многообразием загрязняющих веществ и высокой изменчивостью во времени. Поэтому поиск вариантов разнообразия видового состава микроорганизмов используемого активного ила, замещение его более устойчивыми и эффективными штаммами представляет большой интерес.

В указанных условиях работы российских предприятий роль продуктов Vi-CHEM даже возрастает, так как благодаря устойчивости и синергизму действия содержащихся в них штаммов микроорганизмов повышается интенсивность биоокисления загрязнений сточных вод. Реализуется технология не заменой существующей биологической популяции активного ила, а дополнением ее новыми природными устойчивыми штаммами, которые имеют тенденцию накапливаться в активном иле, постоянно вытесняя слабые неустойчивые формы.

Участники семинара отмечали, что они получили полезную информацию о новых процессах биотехнологии и опыте их применения в производстве целлюлозы и очистке сточных вод. Вопросы, рассмотренные на семинаре, представляют несомненный интерес для предприятий России. Если ферментные технологии уже доказали свою эффективность при отбелке целлюлозы, то проблемы очистки сточных вод остаются актуальными практически для всех предприятий и требуют новых подходов для их решения.

**Новожилов Е.В.,
Богданович Н.И.**

Архангельский государственный
технический университет

E.V. Novozhilov, N.I. Bogdanovich

International Seminar in Biotechnology at ASTU