

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

4

2010

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**
Заместитель главного редактора – д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р хим. наук, проф. **А.М. Айзенштадт**, д-р геогр. наук, проф. **А.С. Алексеев**, д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**, д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Комаров**, д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**, канд. техн. наук, проф. **Н.В. Лившиц**, д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**, д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**, д-р биол. наук, проф. **Е.Г. Мозолева**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**, канд. с.-х. наук, доц. **О.А. Неволин**, д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**, д-р техн. наук, проф. **А.В. Питухин**, д-р хим. наук, проф. **Д.А. Пономарев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**, д-р с.-х. наук, проф. **В.П. Рябчук**, д-р техн. наук, проф. **Э.Н. Сабуров**, д-р биол. наук, проф. **Е.Н. Самошкин**, д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**, д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**, д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**, д-р техн. наук, проф. **В.А. Суслов**, д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**, д-р с.-х. наук, проф. **А.И. Чернодубов**, д-р с.-х. наук, проф. **Г.А. Чибисов**, д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4

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

Сдан в набор 06.09.2010. Подписан в печать 27.10.2010. Заказ № 212
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,84. Усл. кр.-отг. 13,84.
Уч.-изд. л. 18,697. Тираж 1000 экз.
Северный (Арктический) федеральный университет

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: 8 (818-2) 28-76-18, тел. 21-89-01
e-mail: forest@agtu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

Издательство Северного (Арктического) федерального университета
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Ю.И. Поташева, Г.С. Тутыгин.* Некоторые особенности накопления поллютантов в хвое сосны, произрастающей вблизи автомобильных дорог..... 7
- А.А. Крюкова, В.В. Царалунга.* Патологические формы ствола дуба черешчатого в дубравах Воронежской области..... 10
- З.П. Мартынюк.* Изменение радиального прироста сосны в районе падения отделяющихся частей ракетносителей Важгорт (Республика Коми)..... 14
- Н.А. Бабич, А.М. Комарова, Е.Б. Соколова.* Формы ели и их лесосеменное значение..... 22
- Н.Б. Старостюк.* Оценка состояния памятника природы «Пристепная дубрава» Воронежской области..... 28
- В.Б. Придача, Т.А. Сазонова.* Морфофизиологическая реакция сосны обыкновенной в условиях гидролесомелиорации..... 32

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев.* О средствах научного проникновения в исследовании лесных машин и оборудования..... 39
- С.А. Борисевич.* Численная модель свободного падения дерева..... 46
- С.П. Дорохов.* Статистическое моделирование времени циклов переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором с различной организацией движения его звеньев..... 53

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- О.Д. Мюллер, В.И. Малыгин, В.Т. Харитоненко.* Перспективы использования древесных отходов в муниципальной энергетике Архангельской области. 60
- И.М. Меркушев.* Кинетика бездефектной сушки пиломатериалов..... 69

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Д.Г. Чухчин, Н.А. Матонина, О.М. Соколов.* Деструкция целлюлозы под действием электронно-пучковой плазмы (ЭПП)..... 74
- Г.А. Пазухина, Ю.В. Шабанов.* К вопросу о механизме делигнификации древесины в системе пероксид водорода – уксусная кислота – вода..... 83
- Е.Ю. Ларина, В.И. Комаров.* Влияние пластических деформаций по толщине и в плоскости листа бумаги, возникающих при испытании на изгиб, на величину измеряемой характеристики..... 89
- У. Цибульский, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова, Т.А. Королева.* Влияние условий кислородно-щелочной обработки на деформационные и прочностные свойства сульфатной целлюлозы. 2. Влияние условий кислородно-щелочной обработки на деформационные свойства сульфатной целлюлозы. 95
- А.П. Руденко.* О классификационной системе изделий, получаемых принудительным формованием..... 101
- Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков, Д.Н. Пошина, В.П. Чертовская.* Ферментативная модификация фракций макулатурной массы из гофротары..... 106

<i>Е.Г. Смирнова, С.А. Добрусина, Е.А. Зайцева.</i> Влияние поверхностной проклейки окисленным крахмалом на старение бумаги для офсетной печати.	115
<i>Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун.</i> Влияние циклов переработки на свойства газетной макулатурной массы.....	120
<i>Н.И. Богданович, В.П. Короткий, В.И. Великанов, Д.К. Носков.</i> Переработка низкосортной и мелкотоварной древесины в энтеросорбенты для сельского хозяйства методом совмещенного процесса карбонизации-активации на модульных установках в полевых условиях.....	126
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>О.В. Малюта, Д.Е. Конаков, Е.А. Гончаров.</i> Радиоэкологические исследования лесных экосистем Среднего Поволжья.....	132
<i>А.Ю. Неделько.</i> Замена термоэлектрических преобразователей бесконтактными ИК-преобразователями.....	138
<i>Ю.А. Варфоломеев.</i> Модернизация производства переработки еловой древесины с биоповреждениями.....	142
<i>ИСТОРИЯ НАУКИ</i>	
<i>Г.М. Анисимов.</i> Учитель, ученый, производственник.....	148
<i>КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ</i>	
<i>Н.А. Бабич, В.И. Мелехов.</i> Ценное учебное пособие.....	149
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>Ректорат, коллективы лесохозяйственного факультета и кафедры лесных культур С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Георгий Иванович Редько (к 80-летию со дня рождения).....</i>	150
<i>Ректорат и коллектив С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. М.Я. Зарубину – 80 лет.....</i>	153
<i>НЕКРОЛОГИ</i>	
<i>Коллектив Брянской государственной инженерно-технологической академии. Памяти Егора Никитича Самошкина.....</i>	155



CONTENTS

FORESTRY

- Yu.I. Potasheva, G.S. Tutygin.* Some Peculiarities of Pollutants Accumulation in Pine Needles Growing near Motorroads..... 7
- A.A. Kryukova, V.V. Tsaralunga.* Pathological Forms of English Oak Stem in Oak Forests of Voronezh region..... 10
- Z.P. Martynyuk.* Change of Pine Radial Increment in Area of Separable Parts Fall of Carrier Rockets Vazhgort (the Komi Republic)..... 14
- N.A. Babich, A.M. Komarova, E.B. Sokolova.* Spruce Forms and their Seed Relevance..... 22
- N.B. Starostyuk.* State Estimate of «Pre-steppe Oakery» Nature Monument in Voronezh Region..... 28
- V.B. Pridacha, T.A. Sazonova.* Morphological Response of Scotch Pine under Silvicultural Operations..... 32

WOODEXPLOITATION

- G.M. Anisimov, A.M. Kochnev.* On Ways of Scientific Penetration in Study of Forest Machines and Equipment..... 39
- S.A. Borisevich.* Numerical Model of Free Tree Fall..... 46
- S.P. Dorokhov.* Statistical Time Simulation of Timber Transfer Cycles by Two-arm Manipulator with Different Organization of its Arms' Motion..... 53

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- O.D. Müller, V.I. Malygin, V.T. Kharitonenko.* Prospects of Wood Waste Use in Municipal Energy Sector of Arkhangelsk Region..... 60
- I.M. Merkushev.* Kinetics of Defect-free Sawed Timber Drying..... 69

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- D.G. Chukhchin, N.A. Matonina, O.M. Sokolov.* Destruction of Pulp under Influence of Electron-beam Plasma..... 74
- G.A. Pazukhina, Yu.V. Shabanov.* On Wood Delignification Mechanism in Hydrogen Peroxide – Acetic Acid – Water System..... 83
- E.Yu. Larina, V.I. Komarov.* Influence of Plastic Deformations in Thickness and Paper Sheet Plane Occurring in Bending on Measured Parameter Value..... 89
- U. Cibulsky, V.I. Komarov, L.A. Milovidova, T.A. Koroleva.* Influence of Conditions of Oxygen-Alkali Treatment on Deformation and Strength Properties of Sulphate Pulp. 2. Influence of Oxygen-Alkali Treatment Conditions of on Deformation Properties of Sulphate Pulp..... 95
- A.P. Rudenko.* On Classification System of Items Produced by Forced Molding.... 101
- E.V. Novozhilov, A.V. Kondakov, D.N. Poshina, V.P. Chertovskaya.* Enzymatic Modification of Recycled Pulp of Corrugated Packaging..... 106
- E.G. Smirnova, S.A. Dobrusina, E.A. Zaitseva.* Influence of Surface Sizing by Oxidized Starch on Paper Ageing for Offset Printing..... 115
- F.Kh. Khakimova, T.N. Kovtun.* Influence of Processing Cycles on Recycled Newsprint Mass Properties..... 120

<i>N.I. Bogdanovich, V.P. Korotky, V.I. Velikanov, D.K. Noskov. Processing of Low-grade and Small Merchantable Wood into Enterosorbents for Agriculture by Method of Concurrent Process of Carbonation-activation on Modular Installations in Field Conditions.....</i>	126
<i>SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING</i>	
<i>O.V. Malyuta, D.E. Konakov, E.A. Goncharov. Radioecological Studies of Forest Ecosystems in Middle Povolzhje.....</i>	132
<i>A.Yu. Nedelko. Replacement of Thermoelectric Transducers by Noncontact Infrared Transducers.....</i>	138
<i>Yu.A. Varfolomeev. Modernization of Spruce Wood Processing with Biodeteriorations..</i>	142
<i>HISTORY OF SCIENCE</i>	
<i>G.M. Anisimov. Teacher, Scientist, Manufacturer.....</i>	148
<i>CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY</i>	
<i>N.A. Babich, V.I. Melekhov. Valuable Textbook.....</i>	149
<i>JUBILEES</i>	
<i>University Administration, Staff of Forestry Faculty and Forest Cultures Department of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy. Georgy I. Redko (by 80th Birthday).....</i>	150
<i>Administration and Employees of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy. M.Ya. Zarubin – 80th year.....</i>	153
<i>OBITUARY</i>	
<i>Administration of Bryansk State Engineering-Technological Academy. In memory of Egor N. Samoshkin.....</i>	155



УДК 502.55:656.13

Ю.И. Поташева, Г.С. Тутыгин

Северный (Арктический) федеральный университет

Поташева Юлия Игоревна родилась в 1976 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры геодезии и земельного кадастра Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 10 печатных работ в области экологической оценки состояния сосновых фитоценозов, расположенных в зоне влияния выбросов автомобильного транспорта.

E-mail: y-potashева@yandex.ru



Тутыгин Геннадий Семенович родился в 1939 г., окончил в 1962 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 100 печатных работ в области лесных культур, лесной мелиорации и экологии.

E-mail: les@agtu.ru



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ В ХВОЕ СОСНЫ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ ВБЛИЗИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Изучено содержание тяжелых металлов в двухлетней хвое сосновых насаждений, расположенных вдоль автодороги Архангельск – Москва (М-8). Разработаны модели зависимости распределения поллютантов с учетом лесорастительных условий и преобладающих ветров.

Ключевые слова: поллютанты, автомобильный транспорт, придорожные сосновые насаждения, тяжелые металлы.

Процессы сорбции, перераспределения и аккумуляции загрязняющих веществ растениями достаточно сложны и зависят от множества факторов [4]. Изучение распределения поллютантов в растениях и их влияния на придорожные насаждения представляют научный и практический интерес, так как на основе полученных данных можно разработать систему контроля и лесохозяйственные мероприятия, направленные на уменьшение отрицательного воздействия выбросов автомобильного транспорта.

Особенности аккумуляции тяжелых металлов в хвое сосны изучали на территории Архангельской области. Объектами исследования служили сосновые фитоценозы, произрастающие вдоль федеральной дороги Архангельск – Москва (М-8). Пробные площади закладывали, как правило, попарно с учетом розы ветров: с наветренной и подветренной сторон дорожного полотна. Содержание тяжелых металлов в хвое определяли в аккредитованной испытательной лаборатории почв, кормов, сельскохозяйственной и пищевой продукции ФГУ САС «Архангельская» с использованием атомно-абсорбционного спектрометра-5М [2].

При анализе загрязнений ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной, произрастающей в разных типах леса, просматриваются сходные тенденции в накоплении и пространственном распределении металлов. По величине их депонирования образуется следующий ряд: Zn>Cu>Pb>Cd.

В хвое придорожных насаждений наблюдается повышенное по сравнению с контролем содержание фитотоксикантов (свинец и кадмий), в меньшей степени накапливаются биофильные элементы (цинк и медь). Максимум поллютантов аккумулируется в 100-метровой полосе от бровки дорожного полотна. С удалением от проезжей части концентрация загрязнителей постепенно снижается и приближается к условно-фоновым значениям, что подтверждается результатами исследований других авторов [1, 3].

На основе регрессионного анализа экспериментального материала разработаны модели пространственной зависимости распределения поллютантов в зоне действия выбросов автомобильного транспорта. Взаимосвязь между содержанием тяжелых металлов в 2-летней хвое сосны и расстоянием до источника выбросов наиболее качественно передают логарифмические и степенные уравнения регрессии (см. таблицу). Эти математические модели адекватны реальному процессу ($F_{расч} > F_{табл}$, при 5 %-м уровне значимости) и удовлетворяют установленным критериям точности.

Результаты корреляционного анализа показали обратную связь между содержанием металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) в растительном материале и расстоянием от источника выбросов при 5%-м уровне значимости коэффициентов корреляции. По М.Л. Дворецкому, теснота связи между оцениваемыми параметрами высокая.

Модели зависимости содержания тяжелых металлов от расстояния до источника выбросов

Уравнение регрессии	Индекс детерминации R^2	Коэффициент корреляции $r \pm m$	Достоверность коэффициента корреляции t
Тип леса			
Сосняк черничный			
$y = -0,3997 \ln(x) + 3,1514$	0,88	$-0,77 \pm 0,16$	4,89
Сосняк пушице-сфагновый			
$y = -0,3208 \ln(x) + 2,7705$	0,90	$-0,80 \pm 0,13$	5,92
Сосняк кустарничково-сфагновый			
$y = -0,2845 \ln(x) + 2,6125$	0,94	$-0,84 \pm 0,11$	7,73
Сосняк лишайниковый			
$y = 2,5719x^{-0,1605}$	0,89	$-0,82 \pm 0,12$	6,81
Сторона дороги			
Наветренная			
$y = 4,0435x^{-0,2184}$	0,80	$-0,77 \pm 0,10$	7,68
Подветренная			
$y = 3,3445x^{-0,1902}$	0,78	$-0,73 \pm 0,11$	6,42

Примечание. x – расстояние до источника выбросов; y – содержание тяжелых металлов.

Зависимость пространственного распределения загрязняющих веществ в хвое сосны придорожных насаждений имеет местный характер, поэтому в условиях автотранспортного загрязнения ее исследовали с учетом направления преобладающих ветров и расстояния до источника загрязнения. Математические модели для наветренной и подветренной сторон автомобильной дороги М-8 представлены в таблице. Как видим, зависимость между параметрами выражается степенными уравнениями регрессии, наиболее точно описывающими характер связи. Это позволит использовать полученные уравнения для прогнозирования накопления тяжелых металлов с учетом розы ветров.

Проведенные исследования позволили выявить некоторые особенности в накоплении металлов сосной обыкновенной, произрастающей в условиях автотранспортного загрязнения. Особую роль в процессах поглощения и перераспределения элементов и их соединений сыграли лесорастительные условия и господствующие ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев Т.А., Тутыгин Г.С. Оценка загрязненности придорожной полосы автомобильных дорог // Экологические проблемы Европейского Севера: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – С. 90–99.
2. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. – М.: ЦИНАО, 1993. – 40 с.
3. Поташева Ю.И. Содержание тяжелых металлов в хвое сосновых насаждений, находящихся под воздействием выбросов автомобильного транспорта // Лесн. журн. – 2008. – № 2. – С. 26–29. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Черненко Т.В. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных местообитаниях // Лесоведение. – 2004. – № 2. – С. 25–35.

Поступила 23.09.09

Yu.I. Potasheva, G.S. Tutygin
Northern (Arctic) Federal University

Some Peculiarities of Pollutants Accumulation in Pine Needles Growing near Motorroads

The content of heavy metals in the two-year needles of pine stands located along the road Arkhangelsk - Moscow is studied. The dependence models of the pollutants distribution on the forest-growing conditions and prevailing winds are developed.

Keywords: pollutants, motor transport, roadside pine stands, heavy metals.

УДК 630*176.322.6:630*162

А.А. Крюкова, В.В. Царалунга

Воронежская государственная лесотехническая академия

Крюкова Анна Александровна родилась в 1986 г., окончила в 2008 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ВГЛТА. Имеет 5 печатных работ в области патологии леса.

E-mail: kruk.a.a@mail.ru



Царалунга Владимир Владимирович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 80 печатных работ в области лесоводства, лесозащиты и истории лесопользования.

E-mail: caralunga@bk.ru



ПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ СТВОЛА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ДУБРАВАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

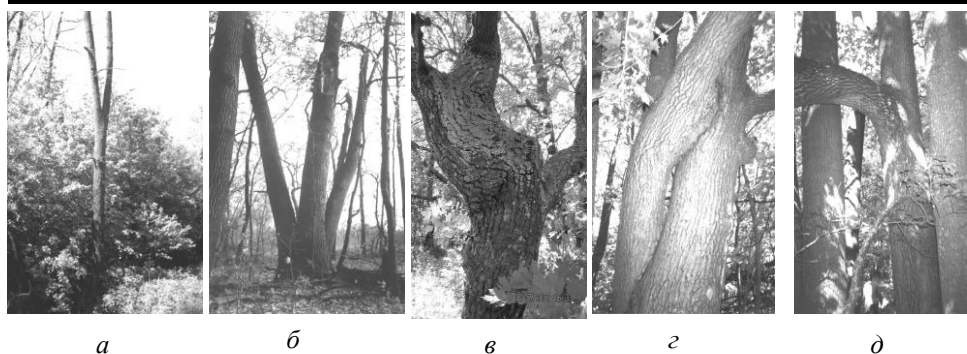
Рассмотрена необходимость дополнения перечня внешних признаков, используемых при оценке состояния дубового древостоя, патологическими формами ствола. На примере Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА приведены данные о наличии таких деревьев дуба, показана зависимость их распространения от ряда таксационных параметров древостоя.

Ключевые слова: дуб, дубравы, ствол дерева, патология леса.

Среди многочисленных признаков внешнего проявления патологии дерева аномальная форма ствола занимает далеко не первое место. Очевидно, поэтому данный признак не вошел в перечень диагностических, рекомендуемых правилами санитарной безопасности, лесозащитными справочниками и руководствами по лесопатологическому мониторингу для оценки состояния древостоя [3–5].

Однако при оценке состояния, к примеру такой породы, как дуб черешчатый, игнорирование деревьев с патологической формой ствола (ПФС) приводит к снижению объективности получаемых результатов, поскольку данный патологический признак в дубравных древостоях достаточно часто встречается и свидетельствует, как минимум, об ограниченной жизнеспособности таких деревьев.

Исходя из этого, мы задались целью исследовать встречаемость данной патологии в дубравах Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА и попытаться выявить закономерности ее распространения в зависимости от параметров насаждения.



Основные группы патологических форм ствола: *a* – раздвоение; *б* – сильный наклон; *в* – искривление; *г* – срастание стволов; *д* – толстая скелетная ветвь

Исследования проводили летом 2007 г. на территории Правобережного и Левобережного лесничеств. Первоначально из таксационных описаний насаждений выбирали выделы с дубом, различные по возрасту, полноте, происхождению, месту произрастания. Далее, до проведения натурных исследований, на основании анализа литературных источников [1, 2, 6 и др.], все известные ПФС разделяли на пять групп: многостволье, наклон, искривление, срастание стволов, толстые скелетные ветви (см. рисунок).

Пробные площади закладывали в виде лент, на которых выполняли сплошной перебор, распределяя патологии по группам. Полученные данные представлены в таблице.

Как видим, в низкополнотных насаждениях деревья с данной патологией встречаются наиболее часто (22,0 %). Преобладают деревья с толстыми ($>1/3 d$ ствола) скелетными ветвями. Это, вероятно, можно объяснить небольшой сомкнутостью полога, что приводит к разрастанию кроны не в высоту, а в ширину. В высокополнотных насаждениях количество ПФС наименьшее (2,5 %).

Больше всего ПФС наблюдается в дубравах возраста 100 лет (22,0 %). Эта зависимость имеет циклический характер с периодами спада и подъема. Естественно, что в отличие от других патологий большинство ПФС появляется в раннем возрасте и не исчезает до конца жизни дерева, поэтому обнаруженная динамика объясняется либо спецификой самого насаждения, либо особенностями проводимых в них рубок ухода.

Наличие ПФС зависит также от происхождения дубрав. Меньше всего патологий в насаждениях семенного происхождения (5,2 %). Почти в 2 раза больше их в культурах (8,4...9,5 %), что, вероятно, связано с несовершенной техникой посадки дуба (когда травмируются саженцы) и несвоевременными рубками ухода (если культуры сильно заросли мягколистными породами, а рубок ухода не было, у саженцев дуба от нехватки солнечного света могут усыхать вершины, что в последующем приводит к многостволью). Весь этот комплекс искусственного и естественного травматизма деревьев в молодом возрасте вызывает появление ПФС, особенно многостволье и формирование толстых скелетных ветвей.

Распределение ПФС у дуба черешчатого

№ пробной площади	Характеристика пробной площади								Вид ПФС, шт./%					
	Состав*	Происхождение	Возраст, лет	Средний диаметр, см	Высота, м	Полнота	Запас, м ³ /га	Число стволов, шт.	Многоствольные	Наклон	Искривление	Срастание	Толстые скелетные ветви	Всего
1	5Дн 3Днн 2 Кл.п	Порослевое	100	36	22	0,4	120	190	9/4,8	5/2,6	–	1/0,6	26/14,0	41/22,0
2	10Днн+Б	«	100	44	20	0,4	110	214	18/8,4	2/0,9	3/1,4	2/0,9	22/10,2	47/21,8
3	6Днн 2Лп	«	65	20	20	0,8	240	577	8/1,4	2/0,3	3/0,5	–	2/0,3	15/2,5
4	1Я.о1Кл 6Днн	«	90	28	22	0,7	220	357	9/2,5	7/2,0	3/0,8	–	9/2,5	28/7,8
5	2Я.о 2Лп 5Дпн 3Ос 1Б	«	75	24	17	0,7	160	492	32/6,5	19/3,9	11/2,2	1/0,2	27/5,5	90/18,3
6	1Ол.ч 9Дн 1Я.о+ Кл.о, Ос	Семенное	80	32	26	0,7	280	320	7/2,2	4/1,2	2/0,6	1/0,3	3/0,9	17/5,2
7	10Дн	Культуры	49	18	16	0,7	130	756	32/4,2	13/1,7	11/1,5	–	16/2,1	72/9,5
8	6Дн 4С.о+Б	«	49	12	13	0,7	100	981	36/3,7	7/0,7	25/2,5	–	15/1,5	83/8,4
9	6Дпн 3Я.о 1Лп +Кл.о	Порослевое	90	28	24	0,7	250	312	16/5,1	7/2,2	4/1,2	–	6/1,9	33/10,4
10	4Дпн 4Лп 1Кл.о 1Я.о +Ос	«	110	36	25	0,7	230	325	25/7,7	8/2,4	7/2,2	–	7/2,2	47/14,5

*Дн – дуб нагорный высокоствольный; Днн – дуб нагорный низкоствольный; Дпн – дуб пойменный низкоствольный; Дпн – дуб нагорный порослевой.

Место расположения насаждений также заметно влияет на встречаемость ПФС. В нагорных дубравах их количество достигает 8,4 %, в пойменных 18,3 %, т. е. в 2 с лишним раза больше (те и другие порослевого происхождения).

Выявленные нами закономерности, несомненно, имеют частный характер, поскольку исследования проведены в ограниченном объеме и в одном массиве, но они свидетельствуют о наличии проблемы с учетом ПФС и необходимости исследования закономерностей распространения данной патологии.

По результатам исследований можно сделать следующие предварительные выводы.

1. Доля деревьев дуба с явной патологией ствола в насаждениях Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА колеблется от 2,5 до 22,0 %, что весьма существенно и должно учитываться при оценке их состояния, конкуренто- и жизнеспособности.

2. Наибольшее распространение имеют такие ПФС, как многостволье и толстые скелетные ветви, что увеличивает риск разлома стволов и облома скелетных ветвей в средневозрастных и приспевающих древостоях.

3. В небольшом количестве и не везде встречаются искривление и срастание стволов.

4. Зависимость количества деревьев с ПФС с возрастом древостоя прямая, с его полнотой и запасом обратная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов А.И.* Патология леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 270 с.
2. *Гартиг Р.* Болезни деревьев. – М.: Кушнерев и К⁰, 1894. – 256 с.
3. Правила санитарной безопасности в лесах Российской Федерации. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2007. – 25 с.
4. Руководство по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга / Рослесхоз. – М., 2007.
5. Справочник по защите леса от вредителей и болезней / И.В. Тропин [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 376 с.
6. *Царалунга В.В.* Санитарные рубки в дубравах: обоснование и оптимизация. – М.: МГУЛ, 2003. – 240 с.

Поступила 17.11.09

A.A. Kryukova, V.V. Tsaralunga
Voronezh State Forestry Engineering Academy

Pathological Forms of English Oak Stem in Oak Forests of Voronezh region

The need of complementing a list of external features used in the assessment of the oak stand state with pathological stem forms is considered. Based on the example of training-and-experimental forestry of VSFEA the data is provided on the availability of such oak trees and the dependence of their distribution on a number of forest inventory parameters of the stand is shown.

Keywords: oak, oak forests, tree stem, forest pathology.

УДК 504.73.054:662

З.П. Мартынюк

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Мартынюк Зиновий Петрович родился в 1962 г., окончил в 1980 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, заведующий отделом компьютерных систем, технологий и моделирования Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 24 печатные работы в области лесной экологии.
E-mail: zimart@ib.komisc.ru



ИЗМЕНЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТОНОСИТЕЛЕЙ ВАЖГОРТ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

На основе данных об изменении радиального прироста сосны проведена оценка регенеративной способности древесной растительности в районе падения и длительного пребывания обломков первых ступеней ракетносителей. Для оценки экономического ущерба дополнительно рекомендуется учитывать суммарное уменьшение прироста древесины.

Ключевые слова: экология, лесные фитоценозы, радиальный прирост, ракетно-космическая деятельность.

Ракетно-космическая деятельность становится одним из ведущих факторов негативного воздействия на природную среду [4, 9, 16, 24]. Уже сейчас некоторые участки суши превращены в свалку космического мусора. Это районы падения отделяющихся частей ракетносителей (ОЧРН), исследования которых единичны и фрагментарны [8, 17].

В настоящее время только на территории Республики Коми для приема частей ракет, запускаемых с космодрома Плесецк, используются 4 участка: Вашка, Печора, Усть-Цильма и Железнодорожный. Существует еще ряд полигонов, ранее бывших районами падения (РП) обломков ракетносителей, территориально с современными РП не совпадающих. К ним, в частности, относится РП Важгорт.

Во время штатного полета ракетносителя в расчетные моменты времени происходит неуправляемое свободное падение отработавших блоков на поверхность Земли. Методом статистического моделирования с заданной вероятностью определяется зона их падения. Район Важгорт представляет собой вытянутый эллипс с радиусами 10 (меньший) и 20 (большой) км, площадью около 6000 га. Его использовали для приема отделяющихся частей ракет в конце 1960-х – начале 1970-х гг. За 5...6 лет на небольшую по площади территорию упало около 100 ступеней ракет, утилизация которых в основном производилась методом подрыва. С момента падения последней ступени прошло более 30 лет. По существу, имеет место «эксперимент»,

смоделировать который в лабораторных условиях не представляется возможным. Исследование этого РП позволяет не только оценить современное состояние растительности, подвергшейся интенсивному, краткосрочному воздействию негативного фактора, но и ответить на вопрос, за какое время лесные участки могут восстановиться. Для оценки регенеративной способности лесных экосистем использовали наиболее распространенный ретроспективный метод изучения годичного радиального прироста деревьев, дающий возможность проследить процесс лесовосстановления в динамике.

Радиальный прирост дерева – интегральный показатель, позволяющий провести анализ условий его существования на протяжении всей жизни, активно используемый в индустриальной экологии для оценки степени воздействия загрязнения на окружающую среду [10, 12]. Объектом исследований нередко выбирают сосну [19, 22, 23] – одну из основных лесообразующих пород бореальной зоны.

Район падения отделяющихся частей ракетносителей Важгорт (его центр) расположен в верхнем течении р. Пыссы (64°14' с.ш., 47°43' в.д.), на территории Пысского заказника, созданного для охраны мест нереста семги [6]. Леса этого района Гринпис относит к категории малонарушенных, девственных [26].

С учетом данных [7] для контроля выбран участок в 30 км от центра РП, в нижнем течении р. Пыссы при впадении в нее р. Субась, на той же широте, со сдвигом по долготе на 1°. Почвенно-климатическая характеристика опытного и контрольного районов практически одинакова [2].

Всего было заложено 10 пунктов учета (ПУ): 6 в РП и 4 на контрольных участках (рис. 1). При этом использовано руководство ICP Forest, разработанное для проведения долговременного мониторинга и оценки влияния загрязнения воздуха на леса Европы [15, 27]. В нашей работе повторное обследование не предполагалось.

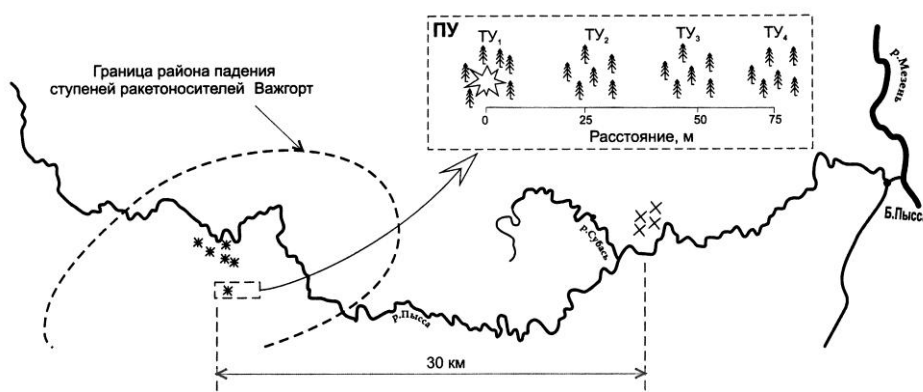


Рис. 1. Схема расположения пунктов и точек учета: × – ПУ контрольные; * – в районе падения

Расположение опытных ПУ соответствовало местам падения ступеней ракет. Определение географических координат и привязку к местности осуществляли с помощью GPS. Шесть обнаруженных мест падения оказались в сосняках, три из них в лишайниковых и три в черничных. Четыре контрольных ПУ закладывали за границей района падения отделяющихся частей ракетносителей в тех же типах леса, что и опытные: два в сосняках лишайниковых и два в черничных.

Для каждого ПУ выбирали четыре точки учета (ТУ) (рис. 1). Первая ТУ находилась в центре падения ступени. Если производили подрыв, то центром падения считался центр воронки. Через каждые 25 м от центра на одной линии закладывали еще три ТУ. Основное условие выбора направления – однородность лесорастительных условий. В каждой из четырех точек учета подбирали по шесть живых деревьев I яруса, I–III классов развития по Крафту. Такой подход к выбору деревьев согласуется с [7].

Для оценки годового радиального прироста на высоте груди (1,3 м от корневой шейки) по двум направлениям (северному и южному) высверливали керны [3, 5]: 121 на опытных участках и 70 на контрольных.

Камеральную обработку экспериментального материала выполняли по усовершенствованной нами методике, с использованием компьютера и сканера. Керны в кассетах (рис. 2) сканировали с высоким разрешением (1200 точек на дюйм) на офисном планшетном сканере вместе с приложенной рядом линейкой. Полученное цифровое изображение подавали на вход специализированной программы, где обрабатывали фильтрами для наилучшего проявления годовых колец, приводили к метрической системе координат, калибровали, после чего в автоматическом режиме выдавались данные прироста по годам.

При обработке собранных материалов индексы прироста [14, 21], применяемые для исключения влияния фактора возраста, не вычисляли, чтобы можно было его учесть при определении регенеративных свойств древостоев. Деревья были разбиты на три возрастные группы, для каждой получены усредненные значения радиального прироста.

Размер выборки позволил с высокой точностью судить о динамике радиального прироста в абсолютных величинах, не переводя их в относительные индекс-проценты [20]. Из математических средств обработки использовали усреднение исходных данных по каждому керну методом скользящего среднего с «окном» 10 лет [18, 20, 21].

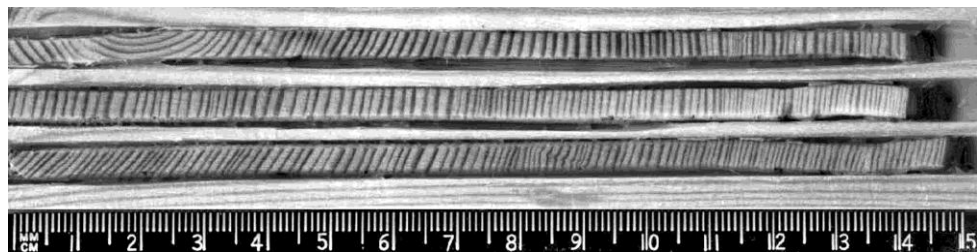


Рис. 2. Сканированное цифровое изображение кассеты с кернами

Общей тенденцией для всех анализируемых групп деревьев является постепенное уменьшение радиального прироста, связанное с особенностями хода роста сосны [1, 11]. В лишайниковых типах леса прирост на 10...15 % меньше, чем в черничных, по всем категориям сравниваемых объектов.

В период использования РП для приема ОЧРН отмечается снижение радиального прироста сосны на опытных участках по сравнению с контролем, что однозначно указывает на отрицательное воздействие обработанных частей ракетоносителей. Этот факт часто оспаривается или полностью отрицается военными [25].

Собранный материал позволяет более детально рассмотреть особенности изменения ежегодного радиального прироста сосны в разных типах леса и у разных возрастных групп деревьев. В сосняках лишайниковых реакция на внешнее воздействие более выражена в первые годы использования РП. Прирост уменьшается быстрее, чем в черничных, как и его восстановление после падения последней обработанной ступени (рис. 3, а).

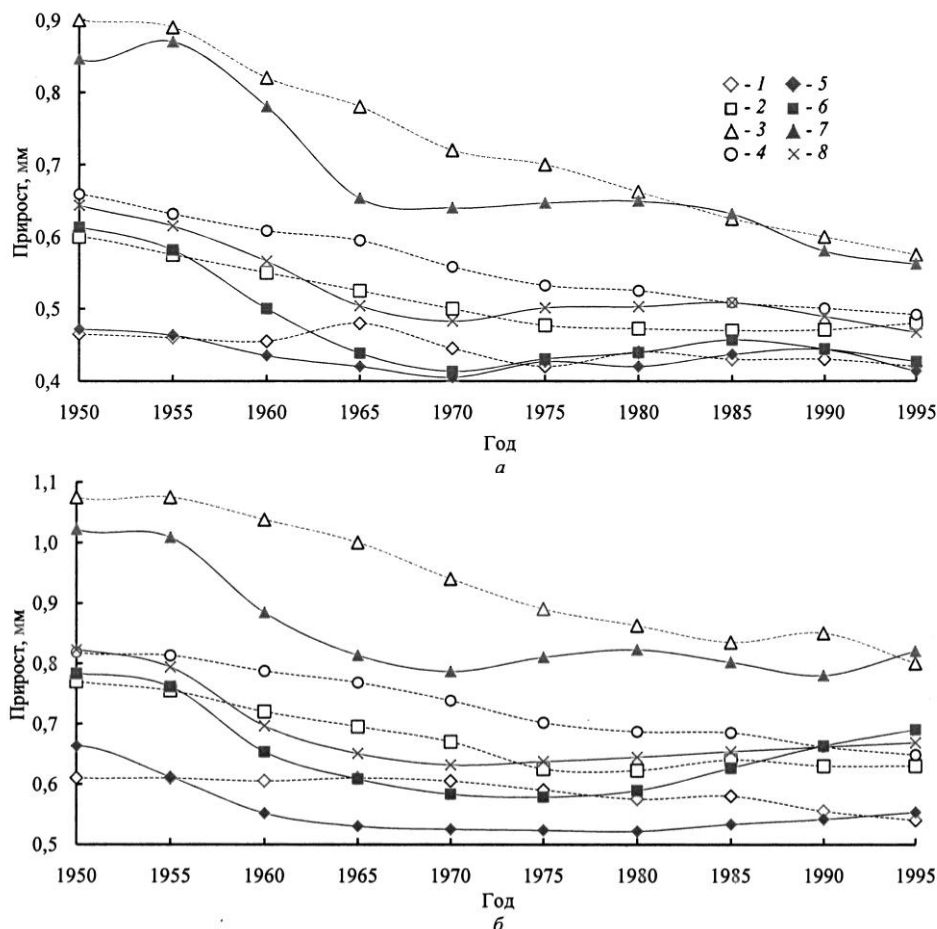


Рис. 3. Радиальный прирост на контрольных и опытных участках в сосняках лишайниковых (а) и черничных (б): 1-4 – на контрольных участках в возрасте соответственно 180...220, 140...180, 100...140 лет и среднее; 5-8 – то же на опытных участках

В черничных типах леса соответственно наблюдается запаздывание реакции прироста в достижении минимума на 3...5 лет. При этом срок восстановления до нормы, соответствующей контрольным участкам, в этих лесорастительных условиях сдвинут в сторону увеличения, т. е. оно наступает позже (рис. 3, б).

Поскольку точное время падения каждой ступени в исследованных ПУ неизвестно, то вывод о неодновременности, несинхронности реакции прироста на изменение экологической обстановки в разных типах леса нельзя считать обоснованным. Однако с определенной долей уверенности можно утверждать, что сроки восстановления прироста в черничных типах леса более продолжительные.

Сравнение реакции радиального прироста на изменение экологических условий у разных возрастных групп позволило выявить существенные различия между ними (см. таблицу). Для 100–140-летних деревьев характерно резкое снижение прироста, а затем быстрое восстановление до уровня, отмечаемого в контроле. Период регенерации занимает 15...20 лет. Для более старых деревьев 140–180-летнего возраста характерно постепенное, плавное уменьшение прироста и медленное его увеличение с периодом восстановления 20...25 лет. При этом суммарное снижение немного ниже, чем у более молодых деревьев. 180–220-летние деревья на неблагоприятный фактор реагируют слабо, в лишайниковом типе леса прирост практически одинаков в контроле и опыте.

Существенность различий радиального прироста с 1960 г. по 1985 г. статистически подтверждается на уровне значимости $p \leq 0,05$, т. е. с вероятностью 95 % можно утверждать, что они не случайны. Для проверки их достоверности с помощью компьютерной программы STATISTICA 6 вычисляли t-критерий Стьюдента и уровень его значимости (p).

Поскольку проводится ретроспективный анализ для события, произошедшего 30...40 лет назад, то и возраст исследуемых деревьев следует пересчитать и привести к 1960–1970 гг. С учетом этого прирост сосны в возрасте до 100 лет сильно зависит от условий окружающей среды и резко сокращается под действием неблагоприятных факторов. У деревьев старше 150 лет прирост более инертен и если отрицательное воздействие не приводит к летальным последствиям, изменяется незначительно.

Таким образом, установлено, что снижение радиального прироста сосны непосредственно в местах падения ОЧРН не зависит от типа леса и возраста деревьев. Восстановление протекает более быстрыми темпами у деревьев до 100 лет в лишайниковых типах леса и в среднем занимает 15...20 лет. Во всех остальных случаях период регенерации больше.

С 1960 г. по 1970 г. разница прироста по диаметру сосны между контрольным районом и РП ОЧРП Важгорт в среднем составила примерно 1,5 мм, еще 1,5 мм в следующее десятилетие и 0,5 мм с 1980 г. по 1990 г. (см. таблицу). Общий прирост с 1960 г. по 1990 г. сократился на 3,5 мм, что можно считать одним из последствий ракетно-космической деятельности для этого района. На сегодняшний день прирост сосны на опытных участках восстановился и совпадает с контролем.

Радиальный прирост сосны, мм

Годы	Возраст сосны, лет			Средний	Контроль – опыт
	180...220	140...180	100...140		
Сосняк лишайниковый					
1995–2000	<u>2,12</u>	<u>2,38</u>	<u>2,93</u>	<u>2,48</u>	0,10
	2,13	2,17	2,85	2,38	
1990–1995	<u>2,15</u>	<u>2,35</u>	<u>3,05</u>	<u>2,52</u>	0,04
	2,20	2,25	3,00	2,48	
1985–1990	<u>2,17</u>	<u>2,36</u>	<u>3,20</u>	<u>2,58</u>	0,05
	2,15	2,25	3,19	2,53	
1980–1985	<u>2,16</u>	<u>2,37</u>	<u>3,39</u>	<u>2,64</u>	0,13
	2,11	2,18	3,24	2,51	
1975–1980	<u>2,15</u>	<u>2,43</u>	<u>3,54</u>	<u>2,71</u>	0,24
	2,09	2,12	3,20	2,47	
1970–1975	<u>2,30</u>	<u>2,55</u>	<u>3,72</u>	<u>2,86</u>	0,40
	2,06	2,12	3,20	2,46	
1965–1970	<u>2,35</u>	<u>2,68</u>	<u>3,98</u>	<u>3,00</u>	0,34
	2,13	2,32	3,52	2,66	
1960–1965	<u>2,29</u>	<u>2,80</u>	<u>4,24</u>	<u>3,11</u>	0,12
	2,23	2,66	4,08	2,99	
1955–1960	<u>2,31</u>	<u>2,93</u>	<u>4,47</u>	<u>3,24</u>	0,04
	2,33	2,97	4,30	3,20	
1950–1955	<u>2,34</u>	<u>3,00</u>	<u>4,56</u>	<u>3,30</u>	–
	2,36	3,09	4,45	3,30	
Сосняк черничный					
1995–2000	<u>2,73</u>	<u>3,15</u>	<u>4,10</u>	<u>3,33</u>	–0,06
	2,74	3,40	4,02	3,39	
1990–1995	<u>2,83</u>	<u>3,17</u>	<u>4,22</u>	<u>3,41</u>	0,12
	2,69	3,24	3,94	3,29	
1985–1990	<u>2,89</u>	<u>3,17</u>	<u>4,23</u>	<u>3,43</u>	0,18
	2,64	3,06	4,05	3,25	
1980–1985	<u>2,91</u>	<u>3,12</u>	<u>4,37</u>	<u>3,46</u>	0,25
	2,61	2,92	4,09	3,21	
1975–1980	<u>2,98</u>	<u>3,22</u>	<u>4,55</u>	<u>3,58</u>	0,40
	2,62	2,90	4,00	3,18	
1970–1975	<u>3,04</u>	<u>3,40</u>	<u>4,82</u>	<u>3,75</u>	0,55
	2,64	2,97	3,99	3,20	
1965–1970	<u>3,04</u>	<u>3,53</u>	<u>5,08</u>	<u>3,88</u>	0,54
	2,69	3,13	4,21	3,34	

Окончание таблицы

Годы	Возраст сосны, лет			Средний	Контроль – опыт
	180...220	140...180	100...140		
1960–1965	3,04	3,67	5,26	3,99	0,31
	2,88	3,48	4,67	3,68	
1955–1960	3,05	3,81	5,38	4,08	0,05
	3,16	3,85	5,07	4,03	
1950–1955	3,07	3,90	5,53	4,17	0,03
	3,23	3,91	5,27	4,14	

Примечание. В числителе – данные для контрольных участков; в знаменателе – для опытных.

Существующие оценки экологического ущерба и расчет размера компенсации за нанесенный природному комплексу ущерб в РП ОЧРН регламентируются на основании [13]. Оценка прямого экономического ущерба часто затруднена в связи с отсутствием четких коммерческих критериев. Для РП одним из таких критериев может быть уменьшение запаса древесины, которое легко перевести в денежное выражение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 200 с.
2. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии. – М.: Изд-во «ДИК», 1997. – 116 с.
3. Битвинкас Т.Т. Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеопиздат, 1974. – 172 с.
4. Власов М.Н., Кричевский С.В. Экологическая опасность космической деятельности: ан. обзор. – М.: Наука, 1999. – 242 с.
5. Дворецкий М.Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 125 с.
6. Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми. Ч. 1. – Сыктывкар, 1993. – 190 с.
7. Карнавичус И.А. Оценка индивидуальной и групповой изменчивости радиального прироста деревьев при помощи процента сходства // Пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. – Каунас, 1981. – С. 45–67.
8. Комплексная экологическая оценка районов падения отделяющихся частей ракет-носителей на полигоне «Плесецк» / А.Б. Бушмарин и [др.] // Экологические аспекты воздействия компонентов жидких ракетных топлив на окружающую среду: материалы науч.-практ. конф. 19–22 сент. 1995 г. – СПб.: РНЦ «Прикладная химия», 1996. – С. 5–8.
9. Кричевский С.В. Космическая деятельность: итоги XX века и стратегия экологизации // Обществ. науки и современность. – 1999. – № 6. – С. 141–149.
10. Кулагин Ю.З. Индустриальная дендроэкология и прогнозирование. – М.: Наука, 1985. – 117 с.
11. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР / под ред. А. Г. Мошкалева [и др.]. – Л.: ЛТА, 1984. – 320 с.
12. Ловеллус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. – Л.: Наука, 1979. – 232 с.

13. Методика расчета компенсационных выплат субъектам Российской Федерации за разовое использование районов падения при проведении запусков космических аппаратов (за исключением запусков в интересах обороны, безопасности страны и в соответствии с Федеральной космической программой) // Рос. газ. – 1998. – 16 апр.

14. Рудаков В.Е. Модульные коэффициенты годичного прироста деревьев – основа воссоздания хода колебаний атмосферных осадков // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. – 1980. – Т. 112. – С. 237–243.

15. Руководство по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса. Ч. 1. – Гамбург, 1998. – 112 с.

16. Сидоров П.И., Совершаева С.Л., Скребцова Н.В. Экологические и методические аспекты ракетно-космической деятельности // Геофиз. проблемы и биосфера. – 2008. – Т. 7, № 4. – С. 14–29.

17. Скребцова Н.В., Совершаева С.Л., Павлова Е.А. Характеристика и анализ динамики смертности населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Здоровье населения и среда обитания. – 2005. – № 5. – С. 30–32.

18. Ступнева А.В. Пространственно-временная изменчивость основных статистик дендрорядов профиля Мурманск – Карпаты // Пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. – Каунас, 1981. – С. 90–100.

19. Таранков В.И., Матвеев С.М. Радиальный прирост древостоев сосны обыкновенной в зоне действия промышленного загрязнения // Лесн. журн. – 1994. – № 4. – С. 48–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).

20. Феклистов П.А. О точности учета радиального годичного прироста древостоя в разных типах леса // Лесн. журн. – 1978. – № 2. – С. 23–27. – (Изв. высш. учеб. заведений).

21. Шиятов С.Г. К методике расчета индексов прироста деревьев // Экология. – 1970. – № 3. – С. 85–87.

22. Щекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. – 127 с.

23. Щекалев Р.В., Торлопова Н.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной // Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии: тез. докл. VI Всерос. популяц. семинара. – Нижний Тагил, 2002. – С. 205 – 207.

24. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую природную среду: справ. пособие / под ред. В.В. Адушкина [и др.]. – М.: Изд-во «Анкил», 2000. – 642 с.

25. Экологический паспорт района падения отделяющихся частей ракет-носителей «Койда»/РНЦ «Прикладная химия». – Мирный Арханг. обл., 1998. – 40 с.

26. Ярошенко А.Ю., Потапов П.В., Турубанова С.А. Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России. – М.: Гринпис России, 2001. – 75 с.

27. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests/ Prepared by the programmer Coordinating Centers with the assistance of the UNEP and the Secretariat IN-ECE. – Stuttgart, 1998. – 353 p.

Z.P. Martynyuk

Institute of Biology. Komi Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences

Change of Pine Radial Increment in Area of Separable Parts Fall of Carrier Rockets Vazhgort (the Komi Republic)

The regeneration capacity of wood vegetation is evaluated in the area of fall and long stay of fragments of the first stages of carrier rockets based on the data on changes in the pine radial increment. To estimate the economic damage it is recommended additionally to take into account the total reduction in timber growth.

Keywords: ecology, forest phytocenoses, radial increment, rocket-and-space activities.

УДК 630*165.5:630*232.31

Н.А. Бабич¹, А.М. Комарова¹, Е.Б. Соколова²

¹Северный (Арктический) федеральный университет

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

Бабич Николай Алексеевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Архангельский государственный лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 200 печатных работ в области таежного искусственного лесовосстановления.

E-mail: les@agtu.ru



Комарова Анна Михайловна родилась в 1985 г., окончила в 2007 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 4 печатные работы в области изучения формового разнообразия ели.

E-mail: skoria@mail.ru



Соколова Елена Борисовна родилась в 1985 г., окончила в 2007 г. Вологодскую государственную молочнохозяйственную академию, аспирант кафедры лесного хозяйства ВГМХА. Имеет 2 печатные работы в области интродукции древесно-кустарниковой флоры.

E-mail: helen15@yandex.ru



ФОРМЫ ЕЛИ И ИХ ЛЕСОСЕМЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Представлены результаты исследования типов ветвления ели на территории Шенкурского района Архангельской области. Изучены биометрические показатели шишек, всхожесть и энергия прорастания семян европейской, сибирской и гибридной елей с различными типами ветвления.

Ключевые слова: ель, вид, тип ветвления, шишки, семена, всхожесть, энергия прорастания, семенной покой.

Основным морфологическим признаком кроны является тип ветвления. Изучением типов ветвления ели в Архангельской области занимались П.И. Войчаль [1], В.Я. Попов [8] и Д.С. Мосеев [6]. П.И. Войчаль исследовал механические свойства древесины внутривидовых форм ели и пришел к выводу, что наибольшей прочностью обладает древесина зубчатой и щетковидной форм. В.Я. Попов и Д.С. Мосеев определили соотношение разных форм ветвления ели в различных типах леса. Но при этом П.И. Войчаль и Д.С. Мосеев не учитывали видовую принадлежность елей. По данным Д.С. Мосеева, на территории Архангельской области ветвление ели неодинаково в разных типах леса. Распространены деревья с чистогребенчатым, неопределенно-гребенчатым, щетковидным и плоским ветвлением [6]. Качество семян ели европейской, сибирской и гибридной с различным типом ветвления не изучалось.

Наши исследования проводились в Шенкурском районе Архангельской области, на пяти пробных площадях, заложенных в одном типе леса – ельнике-черничнике травяном (130...140 лет), V класса бонитета в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.6–80 [2] и ОСТ 56-69–83 [7]. Исследуемый район относится к зоне интрогрессивной гибридизации ели, где встречаются гибриды форм с признаками ели европейской и ели сибирской [10].

Для изучения формового разнообразия ели на каждой пробной площади у 100 деревьев определяли тип ветвления по серединам крон, наиболее характерным в соответствии с установленными признаками [9, 12]. Выясняли изменчивость шишек и семян ели. Для биометрической обработки материала во время осенних лесозаготовок на каждой пробной площади собирали по 30 шишек из крон каждого типа ветвления. Шишки взвешивали на весах AND HL-100, электронным штангенциркулем «ТОУА» измеряли их длину и ширину в закрытом состоянии сразу после сбора. Виды и гибридные формы ели определяли по соотношению длины и ширины семенных чешуй [4]. Руководствуясь документами 1998 г., определяли качество семян разных видов и межвидовых форм ели путем проращивания без предварительной подготовки согласно ГОСТ 13056.6–97 [3].

По нашим данным, на территории Шенкурского района произрастают два вида ели: европейская (40 %) и сибирская (30 %), а также гибридные формы (30 %). В исследуемых условиях произрастания встречаются четыре типа ветвления кроны ели: гребенчатый (10,4 %), компактный (8,3 %), плосковетвистый (54,1 %) и щетковидный (27,2 %). У ели европейской процентное соотношение типов ветвления составляет: гребенчатый, компактный, плосковетвистый по 12,5, щетковидный 62,5 %; у ели сибирской: гребенчатый 33,3, компактный 50,0, плосковетвистый 16,7 %. Гибридная ель представлена гребенчатой (33,3 %), компактной (16,7 %) и плосковетвистой (50,0 %) формами. У ели сибирской и гибридной отсутствует щетковидный тип ветвления.

Исследования морфологических признаков шишек и семян ели разных типов ветвления кроны представлены в табл. 1.

Таблица 1

Биометрические показатели шишек и семян ели разных типов ветвления							
Тип ветвления	Шишки						Масса 1000 семян, г
	Длина, см	Ширина, см	Масса, г	Число семян в одной шишке, шт.	Масса семян в одной шишке, г	Число семенных чешуи в одной шишке, шт.	
Ель европейская							
Гребенчатый	7,1±0,2	2,20±0,03	10,6±0,6	35,9±8,3	0,06±0,01	91,3±3,9	2,1
Компактный	8,2±0,2	2,30±0,03	14,6±0,6	9,3±1,2	0,02±0,00	92,9±4,4	2,4
Плосковетвистый	7,8±0,2	2,30±0,03	14,0±0,6	16,6±1,5	0,06±0,01	90,3±3,3	3,5
Щетковидный	7,9±0,1	2,30±0,02	13,6±0,4	11,5±1,5	0,03±0,00	82,1±2,6	2,7
Ель сибирская							
Гребенчатый	7,7±0,1	2,40±0,02	15,0±0,5	16,5±2,9	0,05±0,01	95,5±2,3	3,0
Компактный	6,7±0,1	2,20±0,02	9,9±0,4	8,5±2,4	0,01±0,00	81,9±3,5	2,0
Плосковетвистый	7,1±0,2	2,40±0,04	12,7±0,7	7,4±1,4	0,02±0,01	86,0±3,6	3,0
Ель гибридная							
Гребенчатый	7,1±0,1	2,20±0,02	12,1±0,3	10,1±1,6	0,02±0,00	65,5±2,5	1,9
Компактный	6,6±0,1	2,20±0,03	8,5±0,4	9,5±1,6	0,02±0,00	68,1±1,7	1,4
Плосковетвистый	6,6±0,1	2,10±0,03	9,9±0,3	11,1±2,3	0,03±0,01	86,5±3,6	2,3

Выход и масса 1000 семян варьируют в зависимости от типа ветвления. По длине и ширине шишек существенного различия не наблюдается ($t = 0...0,72$).

Лучшими биометрическими показателями шишек обладают ель европейская с компактным и плосковетвистым, сибирская с гребенчатым, гибридная с гребенчатым и плосковетвистым типами ветвления кроны (табл. 1). Ель европейская и сибирская с гребенчатым типом ветвления отличается наибольшим выходом семян из шишек, а европейская, сибирская и гибридная с плосковетвистым – массой 1000 семян (2,3...3,5 г).

Таблица 2

Распределение, %, семян по окраске у форм ели с разным типом ветвления

Тип ветвления	Окраска семян		
	Темно-коричневые	Коричневые	Светло-коричневые
Ель европейская			
Гребенчатый	33,4	21,0	45,6
Компактный	60,6	9,0	30,4
Плосковетвистый	65,9	17,5	16,6
Щетковидный	70,3	19,5	10,2
Ель сибирская			
Гребенчатый	33,3	36,7	30,0
Компактный	49,1	40,6	10,3
Плосковетвистый	32,5	35,4	32,1
Ель гибридная			
Гребенчатый	56,2	28,5	15,3
Компактный	49,7	34,8	15,5
Плосковетвистый	38,7	31,0	30,3

При проращивании семена классифицировали по окраске и выделены темно-коричневые, коричневые и светло-коричневые [5]. Соотношение форм ели по типу ветвления и окраске семян представлено в табл. 2. Как видно из таблицы, темно-коричневый цвет преобладает у семян ели европейской с компактным (60,6 %), плосковетвистым (65,9 %) и щетковидным (70,3 %) типами ветвления; у ели сибирской – с компактным (49,1 %), у гибридной – для всех типов ветвления (38,7...56,2 %). Наибольший процент семян светло-коричневой окраски характерен для европейской ели с гребенчатым типом ветвления.

Приведенные в табл. 3 значения технической, абсолютной всхожести и энергии прорастания семян ели с разным типом ветвления свидетельствуют об относительно высоком качестве семян темно-коричневого цвета, принадлежащих деревьям ели европейской, сибирской и их гибридным формам с плосковетвистым типом ветвления. Минимальные показатели характерны для светло-коричневых семян, независимо от типа ветвления кроны.

Таблица 3

Качество семян ели разных типов ветвления

Тип ветвления	Энергия прорастания семян, %			Техническая всхожесть, %			Абсолютная всхожесть, %			Средний семенной покой, дн.		
	т-к	к	с-к	т-к	к	с-к	т-к	к	с-к	т-к	к	с-к
Ель европейская												
Гребенчатый	2,7	–	–	2,7	–	–	2,7	–	–	8,5	–	–
Компактный	6,0	3,6	–	6,0	3,6	–	6,1	3,7	–	8,5	10,0	–
Плосковетвистый	13,0	1,3	–	13,5	2,6	–	13,7	2,7	–	7,7	11,0	–
Щетковидный	3,0	–	1,0	3,0	–	2,0	3,0	–	2,1	8,2	–	11,0
Ель сибирская												
Гребенчатый	4,7	1,5	0,3	4,7	1,5	0,7	4,7	1,6	0,7	7,4	7,0	10,0
Компактный	2,3	–	–	2,7	–	–	2,9	–	–	7,3	–	–
Плосковетвистый	9,9	1,0	–	9,9	1,0	–	10,1	1,1	–	6,9	7,0	–
Ель гибридная												
Гребенчатый	0,5	–	–	1,0	–	–	1,0	–	–	11,0	–	–
Компактный	3,0	–	–	3,0	–	1,5	3,1	–	1,6	8,7	–	15,0
Плосковетвистый	4,0	1,5	–	5,0	1,5	0,5	5,4	1,6	0,5	9,6	6,3	15,0

Примечание. т-к – семена темно-коричневые, к – коричневые, с-к – светло-коричневые. Тире в графах означает, что семена не обнаружены.

Таблица 4

**Расщепление потомства ели по числу семядолей
у форм с разным типом ветвления**

Тип ветвления	Процент растений с числом семядолей							
	5	6	7	8	9	10	11	8...10
Ель европейская								
Гребенчатый	–	–	60,0	20,0	–	20,0	–	40,0
Компактный	–	20,0	60,0	20,0	–	–	–	20,0
Плосковетвистый	–	38,1	61,9	–	–	–	–	–
Щетковидный	–	–	16,7	50,0	16,7	16,6	–	83,3
Ель сибирская								
Гребенчатый	–	23,5	47,1	23,5	5,9	–	–	29,4
Компактный	14,3	28,6	57,1	–	–	–	–	–
Плосковетвистый	–	11,1	33,4	22,2	22,2	11,1	–	55,5
Ель гибридная								
Гребенчатый	–	–	100,0	–	–	–	–	–
Компактный	–	60,0	40,0	–	–	–	–	–
Плосковетвистый	–	27,3	45,4	18,2	9,1	–	–	27,3

В потомстве деревьев ели с разным типом ветвления больше представлены всходы, имеющие 6...8 семядолей (табл. 4). Особи с 9...10 семядолями встречаются редко, с 5 – совсем редко, а с 11 их вообще нет. Больше число 8–10-семядольных всходов имеют растения щетковидного типа ветвления ели европейской и плосковетвистого ели сибирской. Всходы с 8...11 семядолями быстро растут и лучше других подходят для создания лесосеменных плантаций и участков [11].

При ранговой оценке типов ветвления кроны по массе 1000 семян, энергии их прорастания и всхожести плосковетвистый тип получил 12 баллов из 12 возможных, гребенчатый и компактный – 7, щетковидный – 4.

Результаты наших исследований позволяют сделать вывод, что при рубках ухода рекомендуется сохранять деревья с плосковетвистой формой кроны. При заготовке семян и создании лесосеменных плантаций и участков предпочтение следует отдавать ели с таким типом ветвления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войчаль П.И.* О механических свойствах древесины внутривидовых форм ели // Тр. АЛТИ. – Архангельск 1955. – Т. 16. – С. 169–173.
2. ГОСТ 16483.6–80. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
3. ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 28 с.
4. *Комшилов Н.Ф., Бакшаева В.И., Селиванова Т.А.* Химический состав и длина волокна древесины различных видов ели Карелии // Вопросы лесоведения и лесной энтомологии в Карелии. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962.

5. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). – М., 1972. – 284 с.
6. *Мосеев Д.С.* Формы ветвления ели в различных типах леса Архангельской области и связь с ними некоторых биометрических показателей // Экологические проблемы Севера. – 2005. – Вып. 8. – С. 54–56.
7. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. – М., 1984. – 60 с.
8. *Попов В.Я.* Формы ели по типу ветвления кроны в северной и средней подзонах тайги // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – Л., 1980. – Вып. 9. – С. 47–51.
9. *Попов В.Я., Тучин П.В., Жариков В.М.* Создание постоянных лесосеменных участков ели на селекционной основе. – Архангельск, 1990. – 16 с.
10. *Попов П.П.* Ель европейская и ель сибирская. Структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. – Новосибирск: Наука, 2005. – 228 с.
11. *Тучин П.В., Попов В.Я., Файзулин Д.Х.* Характеристика шишек и семян у форм ели обыкновенной по признаку мутовчатости // Материалы отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1988 год. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. – С. 20–21.
12. *Юрпе Н.А.* Типы ветвления ели обыкновенной // Лесн. хоз-во. – 1939. – № 7. – С. 30–37.

Поступила 19.01.10

N.A. Babich¹, A.M. Komarova¹, E.B. Sokolova²

¹ Northern (Arctic) Federal University

² Vologda State Dairy Academy

Spruce Forms and their Seed Relevance

The investigation results of spruce branching types on the territory of the Shenkursk region of the Arkhangelsk province are provided. The biometrical characteristics of cones, seed germination and germinative energy of the European, Siberian and Hybrid spruce with different branching types are investigated.

Keywords: species, branching type, cones, seeds, germination, germinative energy, seed dormancy.

УДК 502.76:630*907.32(470.324)

Н.Б. Старостюк

Воронежская государственная лесотехническая академия

Старостюк Наталья Борисовна родилась в 1983 г., окончила в 2005 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, заместитель директора офиса коммерциализации инновационных проектов и разработок. Имеет 9 печатных работ в области охраны окружающей природной среды и особо охраняемых природных территорий.
E-mail: natder83@mail.ru



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «ПРИСТЕПНАЯ ДУБРАВА» ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Приведены результаты обследования памятника природы в лесном фонде Воронежской области. Даны рекомендации по сохранению уникальных насаждений.

Ключевые слова: памятник природы, ландшафтное обустройство, морфометрические показатели, лесопатологические мероприятия.

Памятники природы, выделенные в разные годы в лесном фонде Воронежской области, являются уникальными, исторически и генетически ценными насаждениями. В настоящее время проблема их рационального использования и сохранения приобрела первостепенное значение, особенно в связи с прогрессирующим развитием экологического просвещения, рекреации, туризма, необходимостью сбережения биологического разнообразия растительного и животного мира.

Ландшафтное обследование территории памятников природы Воронежской области нами выполнено по типовым методикам таксационных, лесоведческих и дендрохронологических исследований, базирующимся на натурном изучении объектов с применением визуальных и измерительных методов оценки санитарного состояния деревьев, их ведущих морфометрических показателей и габитуса. В качестве справочно-нормативной базы использованы действующие в отрасли региональные и общепринятые в лесоустройстве и таксации таблицы и шкалы [1].

С момента предыдущего обследования территории (1997 г.) в состоянии насаждений произошли как позитивные, так и негативные изменения.

Памятник природы Воронежской области «Пристепная дубрава», находящийся в Бобровском районе вблизи с. Хреновое, занимает территорию 53,3 га, а прилегающие ландшафты его охранной зоны – 112 га. В состав памятника входят кварталы 504, 513–517 Хреновского лесничества, насаждения которых представлены сосной и дубом.

В результате проведения натуральных инвентаризационных и ландшафтных работ установлено следующее (см. таблицу). На момент обследования преобладают естественные древостои возраста 60...135 лет. Средняя

высота древостоя 23 м, средний диаметр 42 см, класс бонитета II–IV, полнота 0,4–0,7. С лесоводственно-экологической точки зрения условия местопроизрастания весьма благоприятны для роста дуба черешчатого.

Однако вызывают опасение старовозрастные дубняки (135 лет) полнотой 0,4–0,5, состояние которых находится на грани перехода к неудовлетворительному. Без должных усилий по созданию условий для воспроизводства дуба естественным путем эти участки могут в перспективе утратить свою ценность. Более молодые насаждения также требуют активного вмешательства в виде содействия естественному восстановлению дуба.

На данном объекте есть и сосновые древостои, представляющие природоохранную ценность. К ним можно отнести смешанные сосново-дубовые участки.

По результатам обследования рекомендуются следующие мероприятия по обустройству памятника природы:

отобрать и описать уникальные и достопримечательные деревья, обеспечить охрану;

создать познавательную экологическую тропу;

сократить внутриквартальную дорожно-тропиночную сеть в основном за счет просек и межквартальных дорог.

В целях обеспечения должной эффективности мероприятий по благоустройству территории необходим постоянный мониторинг состояния насаждений.

Территория охранной зоны «Пристепной дубравы» делится по типам ландшафтов. Более половины земель (55 %) относится к ландшафтам закрытого типа горизонтальной сомкнутости (тип Ia). В первую очередь это насаждения сосны обыкновенной как светолюбивой породы. На территории охранной зоны нет ландшафтов полуоткрытого пространства изреженных древостоев.

Не менее важна санитарно-гигиеническая и эстетическая оценка ландшафтов [2]. В кронах дубовых древостоев имеется много усохших крупных ветвей, в том числе сломанных и с гнилями древесины. Плодовые тела дубового трутовика и других дереворазрушающих грибов на стволах пока не обнаружены.

Эстетическая оценка ландшафтов отражает красочность и гармоничность в сочетании всех компонентов растительности. Анализ ландшафта позволяет констатировать, что 50 % территории охранной зоны имеют среднюю эстетическую привлекательность, 20,5 % – высокую. Всю территорию можно использовать в рекреационных целях при условии регулирования антропогенной нагрузки.

Для предотвращения дальнейшего ухудшения санитарного состояния древостоев необходимо провести профилактические и организационно-лесопатологические мероприятия, а именно:

удаление из кроны сухих ветвей и дезинфекцию срезов древесины антисептиками;

Лесоводственно-таксационные показатели и состояние насаждений памятника природы «Пристепная дубрава»

Квадрат / выдел	Площадь, га	Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Класс бонитета	Тип леса	Плотность	Запас на выделе, м ³	Класс товарности	Санитарное состояние
504/4	5,4	10Д нп	85	22	36	III	D ₀ сн	0,7	119	3	Хорошее, поврежденных и больных деревьев нет
504/5	3,8	10Д нп	90	25	40	II	D ₀ сн	0,7	103	–	Хорошее, встречаются угнетенные и суховершинные деревья
513/6	9,4	10Д н	90	25	44	II	D ₀ сн	0,7	254	–	Имеется сухойстой
513/13	0,9	10Д нп	75	21	40	III	D ₀ сн	0,5	14	3	Хорошее, значительных изменений нет
514/1	10,0	10Д н+К л.п	90	26	48	II	D ₀ сн	0,7	280	–	Хорошее, встречаются суховершинные деревья
516/1	2,9	7Д н п 2Ос 1Б+ С	60	18	27	IV	CD сн	0,6	38	–	Хорошее, поврежденных и больных деревьев нет
517/5	0,2	10Д н+Г ш+В	135	25	52	III	D ₀ сн	0,4	3	3	Удовлетворительное, встречаются угнетенные деревья
517/7	1,8	10Д нп	135	21	40	IV	D ₀ сн	0,5	27	4	Удовлетворительное, встречаются угнетенные и суховершинные деревья
517/8	1,6	10Д н+К л.п+ В	135	25	52	III	D ₀ сн	0,5	30	3	То же

предотвращение механических повреждений коры и камбия в нижней части у основания ствола дерева;

снижение антропогенной нагрузки на корневую систему деревьев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леса высокой природоохранной ценности: практ. руковод. – М., 2005. – 200 с.
2. Лесные памятники / О.И. Рожков [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1998. – 208 с.

Поступила 13.05.09

N.B. Starostyuk
Voronezh State Forestry Engineering Academy

State Estimate of «Pre-steppe Oakery» Nature Monument in Voronezh Region

The results of nature monument investigation in the forest resources of the Voronezh region are provided. The recommendations for conservation of unique stands are given.

Keywords: nature monument, landscape development, morphometric characteristics, forest-pathological measures.

УДК [630*161.4/.164:582.475.4]:630*385

В.Б. Придача, Т.А. Сазонова

Институт леса Карельского НЦ РАН

Придача Владислава Борисовна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 30 печатных работ в области экофизиологии древесных растений.

E-mail: pridacha@krc.karelia.ru



Сазонова Татьяна Аркадьевна родилась в 1946 г., окончила в 1969 г. Петрозаводский государственный университет, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и цитологии древесных растений Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 100 печатных работ в области экофизиологии древесных растений.

E-mail: sazonova@krc.karelia.ru



МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ*

Установлено, что морфофизиологические показатели деревьев сосны разного жизненного состояния не зависят от вида лесохозяйственных мероприятий. В выделенных контрольном и опытных кластерах элементный состав органов сосны не связан с жизненностью дерева. В контроле отмечены различия морфометрических показателей.

Ключевые слова: сосна, гидролесомелиорация, содержание и соотношение NPK, морфометрические показатели, жизненное состояние.

В настоящее время большое значение придается развитию лесопользования, оценке устойчивости целых сообществ и отдельных видов к внешним воздействиям [1, 2, 5, 6 и др.]. Особого внимания заслуживает проблема дифференциации древесных растений по жизненному состоянию в ненарушенных лесных фитоценозах, вызванная различными условиями произрастания, в частности неоднородностью светового режима, влажности и трофности почв, в результате чего появляются растения, различающиеся по морфологическим и габитуальным характеристикам [9, 15 и др.]. Это обуславливает необходимость комплексных мониторинговых исследований лесных экосистем, в том числе морфофизиологического состояния основных лесобразующих пород. Полученные количественные оценки можно рассматривать как норму для данных условий произрастания и использовать для объективного прогноза будущих изменений.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-04-00299-а).

Цель настоящей работы заключалась в изучении морфофизиологических особенностей деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разной жизненности в естественных условиях произрастания и при экспериментальных воздействиях. Объектом исследования служили деревья, произрастающие в сосняке травяно-сфагновом на территории лесоболотного стационара «Киндасово» Института леса Карельского НЦ РАН (южная Карелия) в средней подзоне восточно-европейской тайги. Исследования проводили на неосушенном участке (контроль) и опытных участках, состоящих из трех вариантов древостоев : 1) осушенный; 2) осушенный и разреженный; 3) осушенный, разреженный, удобрённый. Осушение всех участков проведено в 1972 г., проходные рубки выполнены в 1982 г., минеральные удобрения (НРК) внесены в 1984 г. Подробно таксационные описания древостоев, характеристики почв и технология лесохозяйственных мероприятий представлены в работах [4, 13].

На участках в августе отбирали образцы хвои, почек, коры ветвей и корней, сортировали по возрастным фракциям, жизненному состоянию дерева (господствующие в пологе древостоя и угнетённые), фиксировали текучим паром. Каждая исследуемая категория включала пять деревьев, анализ выполняли отдельно для каждого из них.

Химический анализ проводили в лаборатории физиологии и цитологии древесных растений и аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН. Содержание азота (N), фосфора (P) и калия (K) в растительных образцах определяли в одной пробе после мокрого озоления согласно работе [10]. Повторность проб трехкратная. Сухую массу 100 пар хвоинок находили на аналитических весах с точностью до 0,0005 г после высушивания до абс. сухого состояния в термостате при температуре 105 °С.

Экспериментальные данные обрабатывали методами дисперсионного и кластерного анализов с использованием пакета программ Statistica for Windows 5.0. Достоверность полученного результата оценивали с учетом объема сравниваемых совокупностей и порога доверительной вероятности 0,95. Разность между двумя соотношениями N:P:K выражали как корень квадратный из суммы квадратов разностей долей отдельных элементов:

$$\Delta_{N:P:K} = \sqrt{\Delta_N^2 + \Delta_P^2 + \Delta_K^2} [2].$$

Таблица 1

Оценка влияния вида лесохозяйственных мероприятий на содержание N, P, K и их доли в соотношении N:P:K в органах деревьев

Показатель	Почки		Хвоя				Кора ветвей		Корни	
			однолетняя		двухлетняя					
	F_f	p	F_f	p	F_f	p	F_f	p	F_f	p
N	0,62	0,56	0,72	0,51	1,38	0,30	0,45	0,65	0,45	0,65
P	0,31	0,74	3,15	0,06	2,71	0,11	3,02	0,06	0,54	0,61
K	0,54	0,60	0,30	0,75	0,66	0,54	3,70	0,04	3,25	0,11
Доля N	0,67	0,53	1,09	0,37	0,68	0,53	2,41	0,11	0,97	0,43
« P	0,37	0,70	4,08	0,05	4,99	0,03	2,28	0,12	0,02	0,97
« K	0,40	0,68	0,41	0,67	,28	0,76	3,56	0,04	1,69	0,26

Примечание. F_f – критерий Фишера эмпирический; p – уровень значимости.

Для оценки влияния вида лесохозяйственных мероприятий на элементный состав разных органов деревьев сосны составили три выборки по вариантам опытов. Сравнительный анализ содержания и соотношения NPK в почках, однолетней и двухлетней хвое, коре ветвей и корнях деревьев сосны показал отсутствие значимых различий между выборками (табл. 1), что может свидетельствовать о независимости исследуемых показателей от конкретного вида лесохозяйственных мероприятий и позволило нам объединить деревья разных опытных вариантов в одну выборку.

Далее для сравнения деревьев сосны с разных участков применяли кластерный анализ. В основу кластеризации в качестве признаков были положены содержание N, P, K и их доли в соотношении N:P:K в разных органах деревьев. Анализ показал, что по исследуемым показателям деревья участка с избыточным увлажнением, как правило, выделяются в отдельный кластер или их доля в кластере является наибольшей (рис. 1). Так, по содержанию и соотношению NPK в хвое, коре ветвей и корнях доля деревьев с этого участка составила во всех случаях 100, в почках - 72 %. На осушенных участках с лесохозяйственными мероприятиями деревья распределились по разным кластерам, но четкой связи с видом мероприятий не отмечается.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о независимости содержания и соотношения NPK в разных органах сосны от вида лесохозяйственных мероприятий. При этом следует отметить различия по этим показателям у деревьев на неосушенном участке и осушенных с лесохозяйственными мероприятиями. Ранее мы также отмечали влияние эдафических условий на элементный состав сосны, что позволило выявить две группы сосновых фитоценозов, произрастающих на сухих и свежих, сырых и мокрых почвах [12].

Проведенный анализ позволил выделить две выборки: контроль – неосушенный участок и опыт – осушенные участки с лесохозяйственными мероприятиями. Выявлены существенные различия в содержании макроэлементов в органах растений в зависимости от эдафических условий.

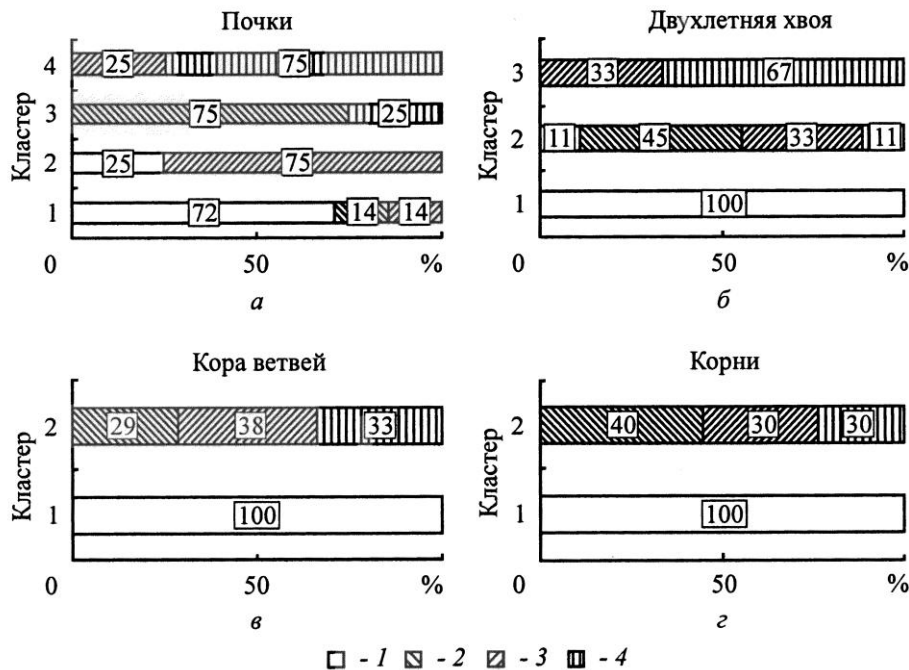


Рис. 1. Распределение деревьев по кластерам: 1 – неосушенный участок; 2 – осушенный; 3 – осушенный и разреженный; 4 – осушенный, разреженный и удобрённый

Особенно это касается азота, количество которого в почках, однолетней и двухлетней хвое, коре ветвей и корнях в контроле составило соответственно 0,87; 0,84; 0,84; 0,53 и 0,55, в опыте – 1,26; 1,51; 1,51; 0,97 и 1,08 % (рис. 2). При этом соотношение макроэлементов в разных органах деревьев в опыте отличается увеличением доли N и уменьшением P и K по сравнению с контролем. Изменение соотношения N:P:K для разных органов было неодинаковым. Так, в однолетней и двухлетней хвое, коре ветвей и корнях деревьев сосны в контроле и опыте разница составила 6,2; 9,3; 29,0 и 30,6 % соответственно. Соотношение N:P:K в почках было одинаковым.

Полученный результат хорошо согласуется с данными других авторов об элементном составе древесных растений в условиях гидролесомелиорации [3, 7, 8, 13 и др.]. Очевидно, что под влиянием осушения возрастает содержание макроэлементов в органах деревьев сосны. Это связывают с улучшением среды произрастания древостоя [4, 8, 13 и др.]. В частности, изменяются водно-воздушный режим и водно-физические свойства почв, корнеобитаемый слой освобождается от воды, в результате повышаются аэрация почвы, микробная трансформация органического вещества и степень разложения торфа. Кроме того, при изреживании древостоев увеличивается освещенность под пологом леса, что приводит к перестройке фотосинтетического аппарата, возрастанию доли световой хвои в общей массе кроны дерева, активизации фотосинтеза, дыхания, транспорта ассимилятов

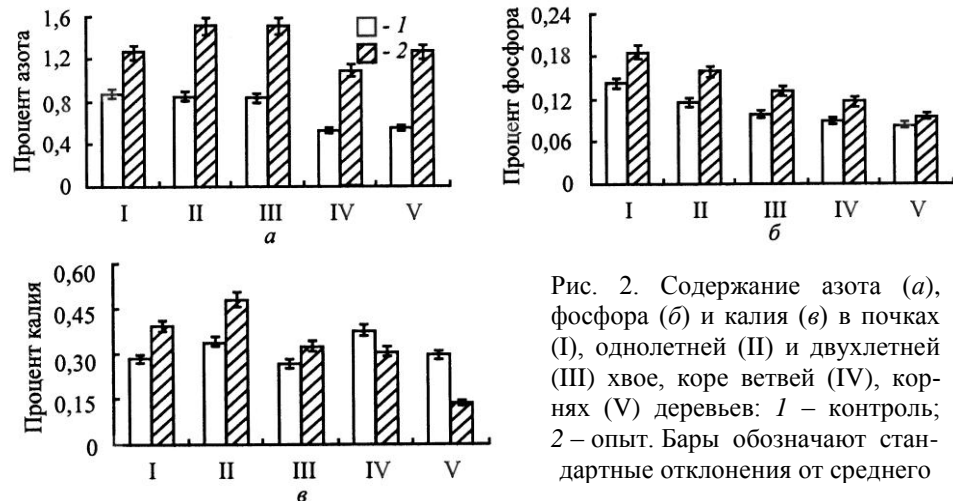


Рис. 2. Содержание азота (а), фосфора (б) и калия (в) в почках (I), однолетней (II) и двухлетней (III) хвое, коре ветвей (IV), корнях (V) деревьев: 1 – контроль; 2 – опыт. Бары обозначают стандартные отклонения от среднего

и водного режима [3]. При внесении минеральных удобрений улучшается обеспеченность древесных растений элементами минерального питания и повышается продуктивность насаждения в целом. Так, если на неосушенном участке фитомасса древостоя составляла $461,6 \text{ ц}\cdot\text{га}^{-1}$, то на интенсивно осушенном была значительно выше – $1006,9 \text{ ц}\cdot\text{га}^{-1}$ [13]. В опыте фитомасса древесины, коры и хвои деревьев сосны составила: на осушенном участке соответственно 455,4; 28,8 и 40,7; на пройденном рубкой 588,9; 37,2 и 54,4; на пройденном рубкой и удобренном 663,2; 42,0 и 61,9 $\text{ц}\cdot\text{га}^{-1}$ [8].

Для оценки влияния жизненного состояния деревьев сосны на содержание и соотношение NPK в разных органах сформировали две выборки, в которые вошли деревья, визуально определенные по морфологическим признакам (высота дерева, форма кроны, степень охвоения ветви, продолжительность жизни хвои) как господствующие и угнетенные. Сравнительный анализ содержания и соотношения NPK в почках, хвое, коре ветвей и корнях не выявил зависимости исследуемых показателей от жизненности дерева как в контроле, так и в опыте (табл. 2). Однако для контрольной группы растений было установлено увеличение в 1,5 раза ($F_f = 26,00$, $p < 0,01$) массы 100 пар хвоинок у господствующих деревьев по сравнению с угнетенными. Для деревьев опытной группы зависимость сухой массы хвои от жизненности дерева не обнаружена. Этот результат, вероятно, может указывать на несоответствие морфологических признаков и метаболических показателей. Можно предположить, что адаптация древесного растения к разным условиям среды, естественным и подверженным лесохозяйственной деятельности человека, идет через изменение морфологических признаков для сохранения постоянства пределов варибельности метаболических показателей, т. е. направлена на поддержание физиологического гомеостаза.

Следует отметить, что диапазон содержания и соотношения NPK в разных органах деревьев сосны как на болотных почвах в ненарушенной природной среде, так и в условиях гидроресомелиорации был сходным

Таблица 2

**Оценка влияния жизненного состояния деревьев на содержание N, P, K
и их доли в соотношении N:P:K в разных органах**

Показатель	Почки		Хвоя				Кора ветвей		Корни	
			однолетняя		двухлетняя					
	F_f	p	F_f	p	F_f	p	F_f	p	F_f	p
Контроль										
N	4,95	0,09	0,27	0,63	0,20	0,67	0,24	0,63	3,51	0,13
P	0,19	0,68	0,50	0,52	0,25	0,64	4,41	0,05	0,57	0,49
K	0,09	0,78	1,07	0,36	0,04	0,86	3,22	0,10	4,06	0,11
Доля N	2,92	0,16	0,06	0,82	0,01	0,92	1,05	0,33	0,08	0,79
« P	1,56	0,28	0,20	0,68	0,60	0,48	0,41	0,54	3,80	0,12
« K	2,53	0,19	0,09	0,78	0,10	0,76	0,59	0,46	0,91	0,39
Опыт										
N	0,19	0,67	4,76	0,06	0,02	0,88	2,67	0,11	0,34	0,57
P	0,41	0,53	0,26	0,62	1,05	0,33	0,01	0,95	0,60	0,45
K	0,18	0,68	0,001	0,98	0,06	0,81	0,18	0,67	4,35	0,06
Доля N	0,12	0,73	4,35	0,06	0,002	0,96	2,67	0,11	0,95	0,35
« P	2,15	0,17	4,72	0,06	0,74	0,41	4,15	0,06	1,20	0,29
« K	0,04	0,84	0,59	0,46	0,08	0,78	1,82	0,19	1,69	0,22

с ранее полученным нами в зависимости от этапа онтогенеза органа и целого дерева [11], а также при варьировании почвенных условий [12], т. е. находился в пределах нормы реакции.

Таким образом, изменения физиологических показателей деревьев сосны, в частности содержания и соотношения NPK, во всех случаях являются обычными для исследуемого вида, что свидетельствует о сходном протекании метаболических процессов как в условиях избыточного увлажнения, так и при мелиоративных мероприятиях. Вероятно, это обусловлено общими механизмами адаптации к воздействию природных и антропогенных факторов. Прежде всего, это избирательность растений при поглощении и перераспределении элементов минерального питания, посредством которой содержание и соотношение NPK поддерживаются в определенном диапазоне. Наличие механизма «структурных адаптаций» [6] также позволяет сохранять вариабельность физиологических показателей на нормальном уровне посредством структурных перестроек фитомассы при изменении внешней среды. Результатом действия этого механизма является отсутствие различий в физиологических показателях у деревьев сосны разного жизненного состояния, произрастающих в условиях гидролесомелиорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – 200 с.
2. Биохимические индикаторы стрессового состояния древесных растений / Н.Е. Судачкова [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1997. – 176 с.

3. *Веретенников А.В.* Физиологическое обоснование некоторых лесохозяйственных мероприятий // *Анатомия, физиология и экология лесных растений.* – Петрозаводск, 1992. – С. 24–26.
4. *Германова Н.И., Саковец В.И.* Почвенно-биологические процессы в осушенных лесах Карелии. – Петрозаводск, 2004. – 188 с.
5. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям / под ред. Г.В. Удовенко. – Л.: ВИР, 1988. – 227 с.
6. *Кайбияйнен Л.К.* Эколого-физиологические исследования сосны и основных древостоев // *Тр. КарНЦ РАН.* – Петрозаводск, 2003. – Вып. 5. – С. 65–73.
7. *Корчагина М.П.* Изменение минерального питания сосны на осушенной торфяной почве под влиянием реконструктивной рубки и удобрения // *Исследования осушенных лесоболотных биогеоценозов Карелии.* – Петрозаводск, 1989. – С. 103–112.
8. *Медведева В.М.* Формирование лесов на осушенных землях среднетаежной подзоны. – Петрозаводск, 1989. – 168 с.
9. Метаболизм сосны в связи с интенсивностью роста / В.В. Габукова [и др.]. – Петрозаводск, 1991. – 162 с.
10. Методическое руководство по ускоренному анализу золы растений и определению азота. – Петрозаводск, 1990. – 45 с.
11. *Придача В.Б., Сазонова Т.А.* Возрастные изменения содержания и соотношения азота, фосфора и калия в органах *Pinus silvestris* и *Picea abies* (*Pinaceae*) // *Ботан. журн.* – 2004. – Т. 89, № 9. – С. 1486–1496.
12. *Сазонова Т.А., Придача В.Б.* Содержание минеральных элементов в органах сосны и ели при варьировании почвенных условий // *Лесоведение.* – 2005. – № 5. – С. 25–31.
13. *Саковец В.И., Германова Н.И., Матюшкин В.А.* Экологические аспекты гидролесомелиорации в Карелии. – Петрозаводск, 2000. – 155 с.
14. Соотношение N:P:K в среде и избирательная способность растений (теоретический анализ) / Д.Б. Вахмистров [и др.] // *Физиология и биохимия культурных растений.* – 1986. – Т. 18, № 4. – С. 326–333.
15. *Цельникер Ю.Л., Корзухин М.Д., Зейде Б.Б.* Морфологические и физиологические исследования кроны деревьев (литературный обзор). – М., 2000. – 94 с.

Поступила 07.07.09

V.B. Pridacha, T.A. Sazonova

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences

Morphological Response of Scotch Pine under Silvicultural Operations

The morphological performance of pine trees of different vital conditions doesn't depend on the type of silvicultural operations. The elemental composition of the pine organs is not connected to the tree vitality in the selected control and experimental clusters. The differences in the morphometric performance are marked in the control.

Keywords: pine, silvicultural operations, content and ratio of NPK, morphometric performance, vital conditions.



УДК 630*377.044:629.017

Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Анисимов Георгий Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры лесных гусеничных и колесных машин С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН. Имеет около 150 работ по повышению технического уровня, теории и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.

Тел.: 8-921-924-60-62



Кочнев Александр Михайлович родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, член-корреспондент РАЕН, академик МАН ВШ, почетный машиностроитель. Имеет более 110 печатных работ в области исследования технического уровня и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.

E-mail: kama_npk@mail.ru



О СРЕДСТВАХ НАУЧНОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ЛЕСНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Сформулированы основные направления повышения средств научного проникновения в исследовании лесных машин и оборудования, включающие современные методы моделирования сложных динамических систем, обоснование достоверности результатов, адекватности математической модели объекту исследования, теорию эксперимента.

Ключевые слова: исследования, системный подход, средства научного проникновения.

Новым методологическим направлением современного научного познания является системный подход к научным исследованиям, базирующимся на средствах научного проникновения (теория, математический аппарат, технические средства измерения и наблюдения, логические системы анализа и управления и т. д.) и методах исследования. Применительно к лесосечным машинам особенности системного подхода и средств научного проникновения приведены в работах [2–4]. Существующие средства необходимо совершенствовать, наполняя новыми элементами и положениями, значимыми для конкретных разделов науки.

Опубликованные статьи нередко имеют сумбурную структуру, содержание не отвечает требованиям, предъявляемым к НИР, исследования выполнены на низком научном уровне. Допускаются вольности и даже безграмотность в терминах и определениях. Часто в названиях работ и формулировке их цели используются термины «эффективность», «качество», «нагруженность», «прочность» и т. д.

Анализ исследований в различных отраслях науки показал, что для оценки технического уровня машин и оборудования, эффективности их работы, кроме термина «экономическая эффективность», применяются «эксплуатационная», «энергетическая», «экологическая», «техническая» и др. [1, 4, 13, 18]. Каждый вид эффективности имеет свои показатели оценки, которые исследователь должен обосновать.

Качество – совокупность свойств и их оценка на соответствие какому-либо требованию, а свойство – конкретное проявление объекта в условиях взаимодействия с другим объектом, внешними факторами.

Исследователю необходимо учитывать, что в машиностроении создано и развивается современное научное направление «Качество исследований и разработок в машиностроении», включающих научно-исследовательские, проектно-конструкторские и технологические разработки. Сформулирована система нескольких десятков показателей качества исследований, даны их четкие определения и значения [20].

В классическом учебнике Н.М. Беляева приведены основные понятия нагруженности и прочности: если действительная величина систематически колеблющегося напряжения превышает предел усталости или предел выносливости, то в материале образуется трещина усталости [8, с. 729]. Предел выносливости при несимметричном цикле нагружения определяется с учетом характеристики цикла – коэффициента асимметрии. Для получения расчетных данных об усталостной прочности, составления стендовых программ испытаний необходимо знать число всех «перегрузочных» циклов и их асимметрию.

Акад. АН УССР С.В. Серенсен и его ученики [19, 21] разработали методологию получения информации о нагруженности конструкции и систему обработки экспериментальных данных, в основу которой положен корреляционный счет. Иного понятия о нагруженности элементов конструкции не существует.

В последние годы наблюдается девальвация экспериментальных исследований, которым известные российские ученые придавали огромное значение. Лауреат Нобелевской премии акад. П.Л. Капица считает [12, с. 195], что доброкачественный эксперимент является необходимым условием как для построения передовой теории, так и для получения практических результатов. В подтверждение своего мнения он приводит высказывания гениального английского физика Кельвина (Томсон Ульям), который сравнивал теорию с жерновами, а опытные данные с зерном, засыпаемым в эти жернова, гнилое зерно не может дать питательную муку. Эксперимент является необходимым условием для построения передовой теории. Один хороший эксперимент стоит больше изобретательного ньютоновского ума [12, с. 26]. При этом повышается значимость технических средств измерения и наблюдения. Основатель первой в России Палаты мер и весов Д.М. Менделеев говорил: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять». Научные исследования в основном базируются на моделировании, ГОСТ 16504–81 [9] относит математическую модель к объекту исследования.

Реальные машины, механизмы, агрегаты представляют собой сложные динамические системы. Проводить их анализ непросто и часто нецелесообразно. В смежных отраслях науки для исследования динамических систем составляются приведенные упрощенные расчетные схемы, эквивалентные реальным системам. Это довольно трудоемкий процесс, характеризующий искусство и квалификацию исследователя. Кроме того, все реальные объекты имеют нелинейные связи и элементы. Важно доказать линейность системы или провести ее линеаризацию, только тогда можно применить принцип суперпозиции [6]. Например, лесную машину, с динамической точки зрения, можно представить как систему, состоящую из нескольких десятков дискретных масс, связанных гибкими безынерционными связями, а система с распределенными массами имеет бесконечное число степеней свободы. Степень упрощения расчетной схемы определяется динамическими свойствами объекта, режимами работы и задачей исследования. Обычно многомассовую схему объекта упрощают до 2–6-массовой; при этом важно, чтобы не исказились изучаемые собственные частоты и формы колебания. Разработаны рекомендации по содержанию операций, выполняемых при построении математической модели объекта [6].

Математическая модель должна базироваться на разработках предшественников, законах механики, ГОСТах и содержать научную новизну, которая должна быть четко и кратко сформулирована в каждой НИР. С нашей точки зрения, в одном – двух предложениях необходимо отразить объект моделирования, новизну и отличие математической модели от опубликованных теоретических исследований предшественников, ее «управляемость», конечную цель моделирования [7].

Динамические процессы, возникающие в механизмах, системах и узлах лесных машин, зависят не только от параметров и технических решений, применяемых в самой машине, но и от внешних возмущающих или возбуждающих воздействий. Для мобильных лесных машин силовое возбуждение определяется неровностями и жесткостью опорной поверхности (волок, дорога, лесосека), скоростью движения, свойствами предмета труда и т. д. Эти факторы влияют на динамическую нагруженность деталей, тяговую динамику, плавность хода машины, уплотнение лесного почвогрунта движителем. В современном представлении мобильные системы различного назначения находятся под воздействием случайных возмущений.

С 1960-х гг. при исследовании динамических систем расширяется применение статистической динамики – одной из областей теории вероятностей, что позволяет выполнить расчеты при случайном характере возмущающих воздействий. Большая система опорная поверхность – машина – ходовая система – механизмы машины – водитель распадается на две подсистемы: опорная поверхность и механизмы машины с оператором. Экспериментальные исследования и математическое моделирование неровностей или микронеровностей опорной поверхности и динамические процессы, возникающие в механизмах и системах мобильных машин под воздействием случайных возбуждений, достигли высокого уровня научного проникновения [4, 5, 22].

Микронеровности опорной поверхности рассматривают как случайный процесс или случайную функцию, в последнем случае аргументом является длина трассы.

Вторая подсистема состоит из объектов, включая механизмы, агрегаты, системы машин и оператора. Искусство исследователя заключается в квалифицированном упрощении и приведении реальной динамической системы (подсистемы) к эквивалентной расчетной схеме. Общих принципов такого преобразования не существует. Доказано, что оно должно базироваться на «трех китах» [2, 4] (поставленная задача, режимы работы, особенности конструкции) и сопровождаться анализом собственных частот и формы колебаний. При упрощении важно исключить искажение значений собственных частот системы, влияющих на решение задач исследований [2, 4]. Лесосечную машину, например трелевочный трактор, можно представить как большую систему [4], которая в зависимости от цели исследования «расчленяется» на отдельные динамические системы. Выделение отдельных звеньев машины необходимо обосновать.

Доказана возможность исследования динамических процессов, например в трансмиссии трактора, без учета колебательных процессов в двигателе и ходовой части, если их первые собственные частоты отличаются на порядок. При этом должны учитываться «реактивные контуры», что значительно повышает точность [4].

Одна из сложных задач плавности хода мобильных машин – воздействие колебательных процессов на оператора. В фундаментальной монографии под редакцией проф. А.А. Хачатурова обобщены результаты многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых по определению биодинамических моделей тела человека и его отдельных органов. Наиболее полной моделью человека является система грудь – таз, состоящая из двух масс: таза, в том числе части нижних конечностей, и груди с учетом головы, плеч и части верхних конечностей. Применяется трехмассовая биодинамическая модель системы таз – грудь – голова. Определены передаточные функции биодинамической модели человека с различным числом масс, используемые в качестве оператора преобразования [11, с. 137].

Для решения некоторых задач при моделировании качения шины низкого давления по деформированному почвогрунту лесосеки, тем более скольжение кроны дерева по опорной поверхности с микронеровностями, следует рассматривать как неголономную механическую систему, в которой кроме геометрических налагаются еще кинематические связи, не сводящиеся к геометрическим и называемые неголономными. Движение неголономных систем изучается с помощью уравнений Чаплыгина или уравнений, получаемых на основании вариационных принципов механики. Впервые взаимодействие трелевочной системы с почвогрунтом лесосеки рассмотрено как неголономная система в работе [17], это весьма перспективный метод моделирования процессов, протекающих в лесосечных машинах и системах.

Еще в 1980-х гг. М.В. Кондаков опубликовал ряд программных статей, в которых изложены современные методы моделирования и расчета

динамической нагруженности конструкций манипуляторов для лесозаготовительной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности [14–16]. По утверждению М.В. Кондакова, в практике расчета упругих конструкций используются три основных типа расчетных схем: дискретные, дискретно-континуальные и континуальные. Они перечислены в порядке возрастания полноты описания конструкции, но вместе с тем и сложности математического моделирования. Дискретная схема представляет конструкцию в виде сосредоточенных масс, связанных упругими безынерционными связями. Такие схемы являются предельно простыми и представляют самый первый шаг при изучении динамики системы. Математические модели динамики 3–4-массовых схем динамических систем и их исследования приведены в справочниках по динамике машин и в настоящее время относятся к студенческому уровню. Дискретные схемы, наряду с простой математической моделью, обладают тем существенным недостатком, что, например, параметры манипулятора нельзя достоверно определить априори на этапе проектирования, без проведения эксперимента, выполненного в производственных условиях с применением современных измерительных средств. Точность расчетной схемы значительно возрастает с увеличением числа ее элементов, что в конечном итоге приводит к дискретно-континуальным схемам, из которых наиболее распространены схемы методов исследования конечных, супер- и граничных элементов. Наиболее полно динамическое нагружение манипулятора и любой несущей конструкции лесной машины, с учетом деформации элементов конструкции, описывается континуальной расчетной схемой, так как манипулятор представляет собой систему с распределенными параметрами. Конструкция манипулятора и древесина схематизируются М.В. Кондаковым блочной моделью с переменными по длине массово-жесткостными характеристиками и сосредоточенными включениями. В основу расчетной схемы манипулятора положена балочная модель с переменными по длине массово-жесткостными характеристиками и дискретными инерционными и жесткостными элементами, каталог которых приводится в работе [14]. Для балочных элементов учитываются упругие продольные и изгибные деформации, а на основе гипотез С.П. Тимошенко также деформации сдвига и инерции поворота поперечных сечений. Математическое моделирование динамического поведения упругого манипулятора базируется на уравнениях математической физики.

Рассмотренные методы следует принимать за основу при изучении динамической нагруженности не только манипуляторов, но и конструкции различных несущих систем лесосечных и лесохозяйственных машин. Теоретическое исследование с применением математического моделирования требует экспериментального подтверждения адекватности математической модели объекту по принятым критериям с доказательством обоснованности и достоверности исследования.

Доказательство последних двух положений базируется на теории эксперимента, включающей [7]:

методику, программу и план экспериментальных исследований с определением числа опытов и длительности эксперимента для получения информации с заданной точностью (относительной погрешности) и доверительной вероятности;

планирование многофакторного эксперимента;

обоснование параметров реализации;

обоснование масштаба записи процессов с учетом свойств регистратора.

Достоверность экспериментальных исследований обуславливается используемой измерительной системой. Датчики-преобразователи, регистраторы и другие приборы должны выбираться с учетом частотных свойств измеряемых и регистрируемых процессов.

В зависимости от задач экспериментального исследования и характера изучаемого процесса выбирается его схематизация (способ первичной обработки). Применяется более десяти схематизаций процессов [7].

Точность измерения, регистрации и первичной обработки процессов по существу определяет достоверность применяемых по результатам исследований решений [7]. В результате математической обработки данных экспериментальных исследований решается ряд задач: проверка принадлежности выборок (реализаций) генеральной совокупности; вычисление статистик с обязательной оценкой достоверности на основе понятия о доверительных интервалах; сравнение дисперсий и коэффициентов вариаций по соответствующим критериям; проверка гипотезы об адекватности описания эмпирического распределения с теоретическим.

По ГОСТ 23603–79 [10], адекватность модели есть ее соответствие экспериментальным данным по заданному критерию с заданной точностью. Для решения оптимальных задач в процессе планирования эксперимента математическая модель должна правильно отражать свойства функции отклика в окрестности точки, для которой поверхность отклика построена. Следовательно, вычисленные с помощью модели значения функции отклика не должны отличаться от экспериментальных. Модель, удовлетворяющая этим требованиям, называется адекватной [7].

Экспериментальные исследования служат для подтверждения адекватности математического моделирования и получения новых экспериментальных данных, в том числе необходимых для теоретических исследований. В производственных условиях они базируются на использовании современных измерительных средств, а имитации, аналогии не пригодны для прогнозирования воздействия производственных условий, окружающей среды на функционирование машины. Например, многие элементы технологического процесса лесозаготовок и лесного хозяйства, особенно переместительные операции на лесосеке, включая производительность, скорость движения машин, затраты времени на выполнение фаз технологического процесса, связаны с коэффициентами сопротивления качению машины и скольжению древесины, но не существует математических моделей прогнозирования значения этих коэффициентов. Даже для прямолинейного движения определение коэффициента сопротивления качению шины и тем более

гусеницы по деформированному почвогрунту, имеющему переменные физико-механические свойства, считается сложной теоретической задачей, которая значительно усложняется в режиме поворота машины и превращается в теоретически не решаемую проблему для реальной лесосеки или трелевочного волока. Это одна из тех эмпирических задач, о которых писал П.Л. Капица [12, с. 411]. Только экспериментально, с применением сложной электроизмерительной аппаратуры можно определить и прогнозировать значения этих коэффициентов, тем более, если учесть их большой диапазон изменения, например по длине даже одного волока [4].

Научная этика исследователя обязывает анализировать работы предшественников, применяемые ими средства научного проникновения и только на основании полученных выводов формулировать задачи как декомпозицию цели исследования.

За уровень научного проникновения исследований, выполняемых молодыми учеными или членами научного коллектива, в определенной мере несут ответственность научные руководители, доктора технических наук, публикации которых должны выполнять воспитательную функцию. Потенциал ученого, его квалификация оцениваются публикациями программных статей и монографий, особенно без соавторства, в центральных научных изданиях и издательствах. К сожалению, в них за последние десятилетия не вышла ни одна монография по лесосечным машинам, механизации лесозаготовок и лесного хозяйства.

Изложенные основные направления повышения уровня средств научного проникновения будут способствовать углубленному исследованию лесных машин и оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алябьев В.И.* Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 231 с.
2. *Анисимов Г.М.* Условия эксплуатации и нагруженность трансмиссии трелевочного трактора. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 168 с.
3. *Анисимов Г.М.* Основы научных исследований. – Л.: Изд-во ЛТА, 1982. – 76 с.
4. *Анисимов Г.М.* Эксплуатационная эффективность трелевочных тракторов. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 208 с.
5. *Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И.* Экологическая эффективность трелевочных тракторов. – СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. – 252 с.
6. *Анисимов Г.М., Кочнев А.М.* Основы научных исследований. – СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. – 490 с.
7. *Анисимов Г.М., Кочнев А.М.* Испытания лесосечных машин. – СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2008. – 486 с.
8. *Беляев Н.М.* Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – 855 с.
9. ГОСТ 16504–81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 28 с.
10. ГОСТ 23603–79. Статистическая оценка нагруженности машин и механизмов. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 26 с.

11. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 536 с.
12. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. – М.: Наука, 1981. – 496 с.
13. Капитан Р.В., Франкитин М.Я. Оценка технической эффективности мероприятий по повышению надежности изделий // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 10. – С. 39–41.
14. Кондаков М.В. Расчетная схема манипулятора // Лесн. журн. – 1988. – № 6. – С. 36–41. – (Изв. высш. учеб. заведений).
15. Кондаков М.В. К расчету динамического нагружения конструкций манипулятора при переходных процессах // Лесн. журн. – 1989. – № 2. – С. 38–43. – (Изв. высш. учеб. заведений).
16. Кондаков М.В. К оценке точности динамической модели упругого манипулятора // Лесн. журн. – 1989. – № 4. – С. 48–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).
17. Кочнев А.М. Теория движения колесных трелевочных систем. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. – 612 с.
18. Мякишев В.А. Лес и экология-92: Проблемы и перспективы // Лесн. хоз-во. – 1992. – № 6. – С. 30–32.
19. Прочность при нестационарных нагрузках / С.В. Серенсен [и др.]. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 294 с.
20. Райзберг Б.А., Кузнецов А.С., Зельман П.М. Качество исследований и разработки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
21. Серенсен С.В., Кочаев В.Н. Несущая способность и расчет деталей на прочность. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963. – 451 с.
22. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 372 с.

Поступила 15.12.09

G.M. Anisimov, A.M. Kochnev
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

On Ways of Scientific Penetration in Study of Forest Machines and Equipment

The main ways of increasing the scientific penetration in forestry machinery and equipment study are formulated, including modern methods of complex dynamic systems simulation, support of results reliability, adequacy of mathematical model to the study object and theory of experiment.

Keywords: study, system approach, ways of scientific penetration.

УДК 531.132.2

С.А. Борисевич

Белорусский государственный технологический университет

Борисевич Сергей Анатольевич родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Белорусский государственный технологический университет, ассистент кафедры теоретической механики БелГТУ. Имеет более 10 печатных работ в области исследования динамических моделей деревьев.

E-mail: borsera@mail.ru



ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ДЕРЕВА

Предложена модель дерева, учитывающая гибкость ствола при свободном падении и взаимодействии с упругим основанием, представляющая цепочку жестких стержней, соединенных упругими связями.

Ключевые слова: ствол дерева, гибкость, численная модель, уравнения Лагранжа, упругое основание.

Исследование влияния гибкости падающего дерева на его динамическое поведение имеет важное практическое значение, позволяя прогнозировать характер взаимодействия ствола дерева с лесной машиной, ударный импульс, производимый стволом на основание и лесную машину. Точное решение задач о движении деформируемых систем удастся получить в замкнутой форме лишь в немногих относительно простых случаях. В основном же это сделать невозможно, и приходится упрощать расчетную модель, в частности уменьшая число степеней свободы [5].

Одним из примеров является модель ствола дерева, представляющая собой набор дискретных масс, соединенных при помощи безынерционных жестких стержней. Последние могут поворачиваться относительно друг друга (рис. 1, *а*), и распределенная по длине ствола податливость локализуется в конечном числе точек. Подобные двух-, трех- и четырехмассовые модели широко используются в практике проектирования лесных машин [3] и, как правило, применяются для исследования малых колебаний ствола дерева около положения его равновесия. Другим примером служит модель ствола дерева в виде цепочки жестких звеньев, соединенных упругими шарнирами (рис. 1, *б*) [1]. Звенья представляют собой цилиндры, диаметры которых

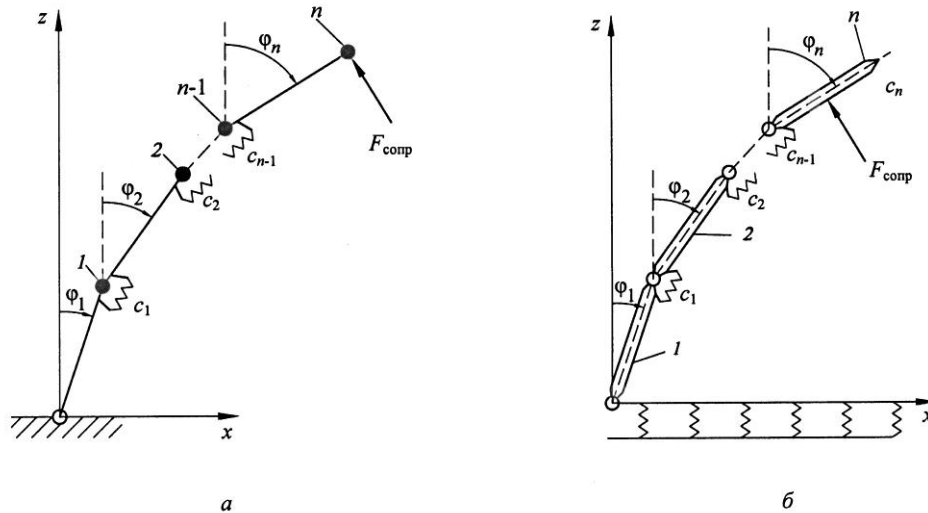


Рис. 1. Расчетные модели дерева: *а* – дискретно-массовая; *б* – стержневая и упругое основание модели Винклера

меняются от основания ствола к вершине. Численные модели, представленные на рис. 1, называемые «bead-chain model» и «rod-chain model» соответственно, давно известны и широко используются при изучении динамики длинных гибких нитей в потоке жидкости [8].

В настоящей работе исследуется второй вариант модели (рис. 1, *б*), для которой представлен численный метод расчета и выполнено компьютерное моделирование механического поведения при свободном падении и взаимодействии с упругим основанием. Сила сопротивления воздуха, действующая на крону дерева, полагается линейной по скорости и приложенной к нескольким последним стержням модели в соответствии с расположением кроны дерева. Ось вращения первого от основания стержня проходит через кромку среза, т. е. сбрасывание дерева с пня не происходит.

Уравнения движения. В качестве обобщенных координат выберем углы поворота стержней (φ_i), отсчитываемые от вертикали (рис. 1, *б*). Считаем, что движение происходит в одной плоскости. Координаты центров тяжести стержней находим из выражений

$$\begin{cases} x_{Ck} = \sum_{i=1}^{k-1} l_i \sin \varphi_i + \frac{1}{2} l_k \sin \varphi_k \\ z_{Ck} = \sum_{i=1}^{k-1} l_i \cos \varphi_i + \frac{1}{2} l_k \cos \varphi_k \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где l_i – длина i -го стержня;

n – число звеньев.

Скорость центров масс стержней определяем следующим образом:

$$v_{Ck}^2 = \dot{x}_{Ck}^2 + \dot{z}_{Ck}^2.$$

Кинетическую энергию рассматриваемой системы находим по формуле

$$T = \sum_{k=1}^n \left(\frac{m_k v_{Ck}^2}{2} + \frac{J_k \dot{\varphi}_k^2}{2} \right),$$

где m_k – масса k -го стержня;

J_k – динамический центральный осевой момент инерции k -го стержня,

для цилиндра $J_k = m_k \left(\frac{d_k^2}{12} + d_k^2 / 16 \right)$, d_k – диаметр k -го стержня.

Потенциальная энергия системы состоит из энергии в поле сил тяжести и энергии упругих связей:

$$П = \sum_{k=2}^n \frac{c_k}{2} (\varphi_k - \varphi_{k-1})^2 + \sum_{k=1}^n g m_k z_{Ck}, \quad (2)$$

где c_k – жесткость упругих связей.

Для определения коэффициентов жесткости сочленений рассмотрим закон Гука при чистом изгибе:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E J_A}, \quad (3)$$

где $1/\rho$ – кривизна упругой линии в произвольном сечении ствола;

M – изгибающий момент в том же сечении;

E – модуль упругости древесины;

J_A – осевой момент инерции сечения ствола.

При чистом изгибе изгибающий момент постоянен во всех сечениях стержня. Разобьем стержень на конечные элементы, соединенные упругими шарнирами (рис. 2). После деформации конечно-элементной модели стержня его ось будет представлять ломаную линию с вершинами в точках соединения цилиндров. Зависимость между длиной конечного элемента (Δl) и радиусом кривизны окружности (ρ), проведенной через сочленения, примет вид

$$\Delta l = \rho \Delta \varphi. \quad (4)$$

В соответствии с законом Гука изгибающий момент выражаем через коэффициент упругости шарнира (c_φ):

$$M = c_\varphi \Delta \varphi. \quad (5)$$

Подставляя (4) и (5) в уравнение (3), получаем

$$c_\varphi = \frac{E J_A}{\Delta l}. \quad (6)$$

Таким образом, коэффициенты жесткости сочленений обратно пропорциональны длине цилиндров, на которые расчленяется стержень, и выражаются простой зависимостью (6) через характеристики ствола дерева.

Примем, что сила сопротивления воздуха, действующая на каждый элемент, пропорциональна первой степени скоростей центров масс стержней $F_k = -\beta v_{Ck}$. При линейной зависимости этих показателей для вычисления обобщенной силы сопротивления удобно ввести диссипативную функцию Релея Φ :

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \beta_k v_k^2.$$

Тогда обобщенная сила (Q_k), соответствующая силам сопротивления воздуха,

$$Q_k = -\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_k}.$$

Для нескольких последних стержней модели коэффициенты β_i примем отличными от нуля в соответствии с расположением кроны дерева и будем считать, что их значения распределены по треугольному закону с $\beta = 70 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}$ у основания треугольника и нулевым на верхнем конце ствола.

Дифференциальные уравнения движения модели получим, составив уравнения Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_k} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_k} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n).$$

В результате получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, линейную по угловым ускорениям элементов, но нелинейную по обобщенным координатам и скоростям. Систему не приводим ввиду ее громоздкости.

Интегрирование уравнений движения. Полученные уравнения решены численно с помощью пакета Maple 11 при заданных начальных углах отклонения стержней от вертикали и их начальных скоростях. С учетом начальных условий получена система уравнений, линейных относительно старших производных $\ddot{\varphi}_i$. Угловые ускорения из системы находили при помощи метода Ньютона – Рафсона по итерационной формуле [2].

Численное интегрирование уравнений движения производили с помощью модификации базовой схемы Верле, так называемой полшаговой «leap-frog» схемы [7]:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}(t + \Delta t/2) &= \dot{\varphi}(t - \Delta t/2) + \ddot{\varphi}(t)\Delta t; \\ \varphi(t + \Delta t) &= \varphi(t) + \dot{\varphi}(t + \Delta t/2)\Delta t, \end{aligned}$$

где φ , $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – векторы соответственно углов поворота, угловых скоростей и угловых ускорений.

Текущие скорости вычисляли по формуле

$$\dot{\varphi}(t) = 0,5(\dot{\varphi}(t + \Delta t/2) + \dot{\varphi}(t - \Delta t/2)).$$

Примем, что диаметр ствола (d) изменяется по линейному закону [4]:

$$d = d_0 - qs, \quad (7)$$

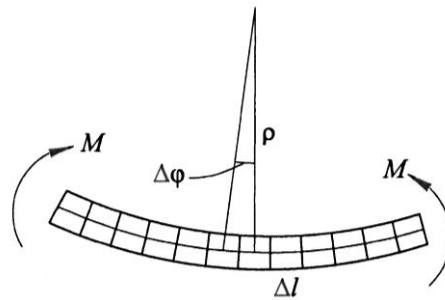


Рис. 2. К определению жесткости пружин

где d_0 – диаметр ствола у основания;

q – коэффициент сбега;

s – дуговая координата, отсчитываемая от основания ствола.

Определим коэффициент сбега следующим образом. Пускай при s , равной длине дерева l , диаметр ствола на вершине будет $d = d_B$, тогда коэффициент сбега

$$q = d_0 - d_B / l. \quad (8)$$

Подставляя (7) в формулу для осевого момента инерции сечения (считая его круглым) и учитывая выражение для коэффициента сбега (8) и для длины звеньев $\Delta l = l/n$, определяем жесткость упругих связей (6):

$$c_k = \frac{EJ_{Ak}}{\Delta l} = \frac{EJ_{A0}}{\Delta l} \left(1 - \left(1 - \frac{d_B}{d_0} \right) \frac{k}{n} \right)^4, \quad k = 1, \dots, n, \quad (9)$$

где J_{A0} – осевой момент инерции сечения у основания ствола.

Проведя аналогичные рассуждения, получим массу звеньев модели:

$$m_{k+1} = m_1 \left(1 - \left(1 - \frac{d_B}{d_0} \right) \frac{k}{n} \right)^2, \quad k = 0, \dots, n, \quad (10)$$

где m_1 – масса первого от основания цилиндра.

Показатель m_1 найдем из условия

$$m = \sum_{k=1}^n m_k = \sum_{k=1}^n m_1 \left(1 - \left(1 - \frac{d_B}{d_0} \right) \frac{k}{n} \right)^2,$$

откуда

$$m_1 = m / \sum_{k=0}^n \left(1 - \left(1 - \frac{d_B}{d_0} \right) \frac{k}{n} \right)^2.$$

где m – масса ствола.

Шаг по времени принимали: при свободном падении $\Delta t = 0,001$ с, при взаимодействии с упругим основанием $\Delta t = 0,0001$ с. Параметры ствола дерева [4]: длина $l = 19$ м, диаметры $d_0 = 24$ см, $d_B = 10$ см, модуль упругости древесины $E = 1,2 \cdot 10^{10}$ Па, плотность $\rho = 780$ кг/м³; массу вычисляли исходя из объема ствола и плотности древесины. В приведенных ниже расчетах ствол дерева разбивали на 20 частей, силу сопротивления прилагали к последним четырем стержням.

Сохранение полной энергии системы при отсутствии сил сопротивления гарантировало устойчивость работы алгоритма.

Свободное падение дерева. Интегрирование дифференциальных уравнений движения проводили при следующих начальных условиях: а) первоначальная осевая линия задана прямой с начальным углом наклона $\varphi_0 = 10^\circ$; б) начальная угловая скорость $\omega_0 = 0,1$ рад/с.

В результате интегрирования уравнений движения можно получить формы осевой линии ствола дерева в процессе его движения. Для некоторых моментов времени они представлены на рис. 3. Как видим, в момент соприкосновения с основанием ось ствола дерева изогнута, что может увеличить производимый при этом импульс. Если силы сопротивления отсутствуют, жесткость ствола не позволяет ему деформироваться, и он движется практически как абсолютно твердое тело.

Взаимодействие падающего дерева с упругим основанием. Примем, что дерево падает на упругое основание, описываемое линейной моделью Винклера без демпфирования, в которой деформации поверхности пропорциональны нагрузке и полностью исчезают при ее снятии [6] (см. рис. 1, б). При касании поверхности основания ($z_{Ck} < 0$) в выражение для потенциальной энергии (2) добавляется дополнительное сла-
4* е, соответствующее потенциальной энергии упругого основания:

$$P^* = P + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n c_{\text{осн}k} \Delta z_{Ck}^2, \quad (11)$$

где $c_{\text{осн}k}$ – жесткость пружин упругого основания.

В расчетах принято, что стержни модели соприкасаются с пружинами своими центрами масс. Коэффициенты жесткости ($c_{\text{осн}k} = c_{\text{осн}}$) приняты равными $6,5 \cdot 10^5$ Н/м [6].

Формы осевой линии ствола дерева в процессе взаимодействия с упругим основанием представлены на рис. 4, из которого видно, что с увеличением номера соприкасающегося стержня деформации пружин основания сначала нарастают, в средней части ствола уменьшаются практически до нуля, а затем резко возрастают при соприкосновении последних стержней модели. Максимальная деформация пружин вызывается последним стержнем и составляет $\Delta z_C = 0,22$ м. В реальном случае воздействие конца ствола дерева на упругое основание смягчает крона. Это легко учесть, изменяя длину его пружин в месте соприкосновения кроны.

Импульс, произведенный стволом дерева на основание (S), можно вычислить по формуле

$$S = \sum_j \sum_k c_{\text{осн}} \Delta z_{jk} \Delta t, \quad k = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, t_{\text{вз}}/\Delta t,$$

где Δz_{jk} – деформации основания;

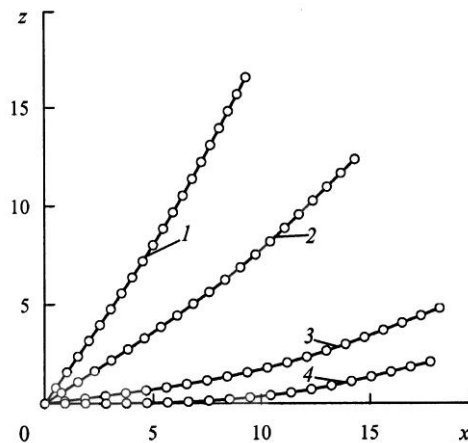
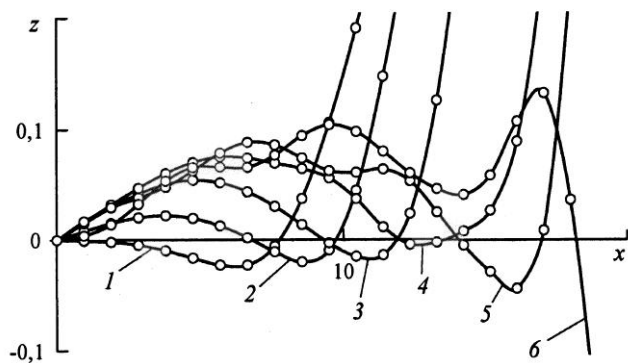


Рис. 3. Упругая линия ствола дерева при падении в различные моменты времени:
1 – $t = 2,3$; 2 – $3,5$; 3 – $4,5$; 4 – $4,8$ с

$t_{вз}$ – продолжительность взаимодействия.

В результате расчетов для жесткого ствола дерева получено $S = 10,720$, для гибкого $S = 8,722$ кН·с. Таким образом, гибкость ствола оказывает значительное влияние на взаимодействие с упругим основанием и приводит к уменьшению импульса, произведенного стволом дерева, почти на 20 %. Полагая в формуле (11) все коэффициенты $c_{оснk}$ кроме одного равными нулю, можно получить модель падения ствола на упругую невесомую опору.

Рис. 4. Упругая линия ствола дерева во время взаимодействия с поверхностью: 1 – $t = 4,35$; 2 – 4,36; 3 – 4,39; 4 – 4,43; 5 – 4,45; 6 – 4,47 с



Таким образом, расчеты показали, что использование рассмотренной модели позволяет учесть гибкость ствола при падении дерева и взаимодействии с упругим основанием, получить характер распределения деформаций ствола и основания. Не представляет труда учесть не только сбег, но и другие особенности дерева.

Автор выражает благодарность проф. В.С. Вихренко за ценные указания при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисевич С.А. Конечно-разностная схема для исследования падения ствола дерева // Тр. БГТУ. Сер. II: Лесн. и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. 16. – С. 104–107.
2. Дэннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. – М.: Мир, 1988. – 440 с.
3. Жуков А.В. Теория лесных машин. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
4. Коротяев Л.В. Параметры деревьев и хлыстов как объектов лесозаготовительного производства. – Л.: АЛТИ, 1982. – 80 с.
5. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1991. – 256 с.
6. Черкасов И.И. Механические свойства грунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1976. – 247 с.
7. Allen M.P., Tildesley D.J. Computer Simulation of Liquids. – Oxford.: Clarendon press, 1999. – 385 p.

8. *Gang Wang, Wei Yu, Chixing Zhou*. Optimization of the rod chain model to simulate the motions of a long flexible fiber in simple shear flows // *European Journ. of Mechanics B*. – 2006. – Vol. 25, N 3. – P. 337–347.

Поступила 03.07.09

S.A. Borisevich
Belorussian State Technological University

Numerical Model of Free Tree Fall

The tree model is suggested taking into account the stem flexibility under its free fall and interaction with the elastic base; the model presents the chain of hard bars connected by elastic connections.

Keywords: tree stem, flexibility, numerical model, Lagrange equations, elastic base.

УДК 630*38

С.П. Дорохов

ОАО НПП «Старт» (г. Екатеринбург)

Дорохов Сергей Петрович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Уральский лесотехнический институт, начальник конструкторской бригады ОАО НПП «Старт» (г. Екатеринбург). Имеет более 20 печатных работ по оптимизации процесса переноса груза манипуляторами.
Тел. (343) 228-93-26



**СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВРЕМЕНИ ЦИКЛОВ ПЕРЕНОСА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ
ДВУХЗВЕННЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ
С РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЕГО ЗВЕНЬЕВ**

Рассмотрены три способа организации движения звеньев манипулятора при переносе лесоматериалов. Дано сравнение способов для оценки экономической эффективности параметрической оптимизации и совершенствования системы управления манипулятора.

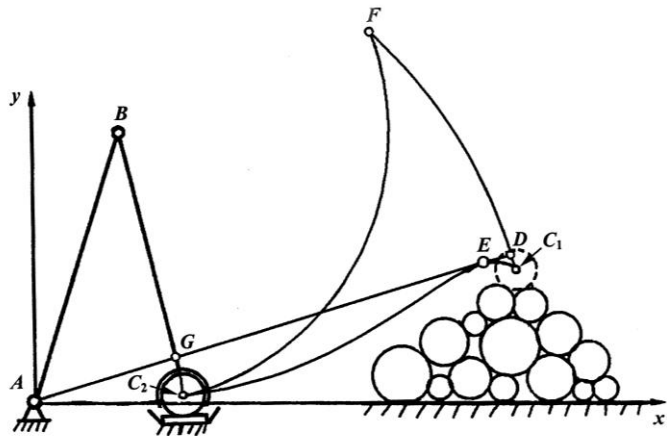
Ключевые слова: манипулятор, траектория, время, цикл, статистика, моделирование.

Движение звеньев двухзвенного (шарнирно-рычажного) манипулятора при переносе лесоматериалов, например в обрабатывающей установке ЛО-15А, может быть организовано тремя способами. Первый способ заключается в раздельном по времени (друг за другом) движении звеньев. В этом случае манипулятор работает в угловой (ангулярной) системе координат. На рис. 1 представлена траектория движения звеньев C_1FC_2 .

При втором способе траектория перемещения центра захвата из некоторой начальной точки C_1 в конечную точку C_2 выполняется двухзвенным манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма. При этом манипулятор работает в полярной системе координат. Его звенья движутся так, что центр захвата перемещается по траектории, состоящей из отрезка прямой радиальной линии, проходящей через ось опорного шарнира A стрелы и отрезков окружностей с центром на оси опорного шарнира A стрелы, проходящих через начальную C_1 и конечную C_2 точки (траектория C_1DGC_2 на рис. 1).

Третий способ заключается в совместном движении звеньев на всей траектории переноса лесоматериалов из начальной точки C_1 в конечную точку C_2 (траектория C_1EC_2 на рис. 1).

Рис. 1. Траектории переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором при различной организации движения его звеньев



Первый способ обеспечивается известной системой управления, а второй, кроме этого, и параметрической оптимизацией кинематической схемы манипулятора. Последняя заключается в выборе таких длин звеньев и плеч подсоединенных к ним гидроцилиндров, что центр захвата перемещается по траектории, близкой к прямой линии, проходящей через ось опорного шарнира стрелы. Третий способ движения может быть обеспечен следящей системой управления или системой автоматического управления на базе микропроцессора.

Представляет интерес сравнение времени циклов переноса лесоматериалов для оценки экономической эффективности параметрической оптимизации и совершенствования системы управления манипулятором. В качестве инструмента получения данных принят метод регрессионного анализа, для которого типична модель вида

$$Y \llbracket X_1, X_2 \rrbracket = aX_1 + bX_2 + c, \quad (1)$$

где X_1, X_2 – угловой путь в цикле переноса лесоматериалов соответственно стрелы и рукояти;

Y – время цикла переноса лесоматериалов;

a, b – коэффициенты регрессии;

c – свободный член уравнения регрессии.

Эта модель использована в дальнейшем для статистического моделирования времени цикла переноса лесоматериалов при различной организации движения звеньев манипулятора.

Цель нашей работы – повышение эксплуатационной эффективности функционирования лесных двухзвенных манипуляторов путем статистического моделирования временных циклов взаимодействия с лесоматериалами.

Экспериментальные исследования связи времени цикла с углами поворота звеньев манипулятора. Связь времени цикла переноса лесоматериалов с углами поворота звеньев устанавливали для манипулятора ЛО-15А.10, работающего в угловой (ангулярной) системе координат, когда перенос захватного органа от точки сброса лесоматериалов

на обрабатывающую установку до точки захвата их в пачке и обратно осуществлялся раздельным во времени (друг за другом) движением звеньев.

Получены статистические характеристики времени цикла: среднее арифметическое $\bar{Y} = 26,129$ с, среднее квадратическое $s = 15,848$ с. По результатам обработки экспериментов установлен сводный коэффициент корреляции между временем цикла переноса лесоматериалов и угловыми путями звеньев манипулятора $R = 0,91$.

С учетом найденных коэффициентов уравнение (1) принимает вид

$$Y = 17,679X_1 + 10,371X_2 - 0,599. \quad (2)$$

Оно является регрессионной моделью времени цикла переноса лесоматериалов манипулятором ЛО-15А.10.

Проверка регрессионной модели. Пары значений X_1, X_2 подставляли в уравнение (2), получено 280 значений времени цикла. Статистические характеристики времени цикла: среднее арифметическое $\bar{Y}_1 = 26,119$ с, среднее квадратическое $s_1 = 14,433$ с.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении дисперсий циклов подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10, вычисленных по регрессионной модели и полученных в эксперименте, рассмотрено отношение большей эмпирической дисперсии к меньшей [3]:

$$s^2/s_1^2 = F. \quad (3)$$

Сравнение дисперсий по формуле (3) дало $F = 1,21$.

При заданной надежности вывода $P = 0,99$ по табл. 19.5-6 [2] найдено критическое значение отношения $F = 1,28$, соответствующее числам степеней свободы для большей и меньшей дисперсии $k = k_1 = 280 - 1 = 279$.

Поскольку отношение F , подсчитанное по формуле (3), меньше критического значения, то дисперсии различаются несущественно, их можно считать одинаковыми.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном расхождении среднего значения циклов подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10, вычисленного по регрессионной модели и полученного в эксперименте, подсчитано отношение [3]

$$t = \frac{\bar{Y} - \bar{Y}_1}{s^* \sqrt{1/n + 1/n_1}}, \quad (4)$$

где

$$s^* = \sqrt{\frac{(n-1)\bar{s}^2 + (n_1-1)\bar{s}_1^2}{(n-1) + (n_1-1)}}.$$

Здесь n, n_1 – число циклов соответственно в эксперименте и полученное по регрессионной модели.

$$\text{Вычисленное отношение (4) } t = \frac{26,129 - 26,119}{1,281} = 0,008.$$

По табл. IV [3] при заданной надежности $P = 0,99$ и числе степеней свободы $k = n + n_1 - 2 = 558$ найдено значение $t(0,99; 558) = 2,585$. Поскольку вычисленное отношение оказалось меньше этого числа, то расхождение средних нельзя считать значимым.

Таким образом, можно сделать вывод, что регрессионная модель вида (2) позволяет с большой точностью прогнозировать время цикла подачи хлыста манипулятором по известным значениям угловых путей его звеньев.

Статистическое моделирование времени цикла подачи хлыста манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма. Вместо X_1 в формулу (2) подставляли значения углового пути полярного радиуса центра C зева захвата манипулятора, X_2 были приняты прежними. Смоделировано 280 значений времени цикла переноса лесоматериалов манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма. Получены статистические характеристики времени цикла подачи хлыста: среднее значение $\bar{Y}_2 = 19,949$ с; среднее квадратическое отклонение $s_2 = 10,428$ с.

Проведено сравнение средних значений циклов подачи хлыстов, вычисленных по регрессионной модели для манипулятора ЛО-15А.10, работающего в угловой системе координат и на основе прямолинейно направляющего механизма. Для этого подсчитано отношение

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{s^* \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}, \quad (5)$$

где

$$s^* = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \bar{s}_1^2 + (n_2 - 1) \bar{s}_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}}.$$

Здесь n_1, n_2 – число циклов, полученное по регрессионной модели, $n_1 = n_2 = 280$.

Подсчитанное отношение (5) $t = \frac{26,119 - 19,949}{0,09} = 68,56$. Поскольку оно оказалось больше табличного $t(0,99; 558) = 2,585$, то расхождение средних можно считать значимым.

Статистическое моделирование времени цикла подачи хлыста манипулятором со строго синхронным движением звеньев. Поскольку в этом случае время движения одного звена входит во время движения другого, то в уравнение регрессии (2) сначала подставляли значения X_1 , а X_2 принимали равными нулю. Затем, наоборот, подставляли X_2 , а X_1 принимали равными нулю. Из полученных значений времени цикла выбирали большие. Так было смоделировано 280 значений времени цикла переноса лесоматериалов манипулятором со строго синхронным движением звеньев. Получены статистические характеристики времени цикла подачи

хлыста: среднее значение $\bar{Y}_{3\max} = 16,195$ с; среднее квадратическое отклонение $s_3 = 9,164$ с.

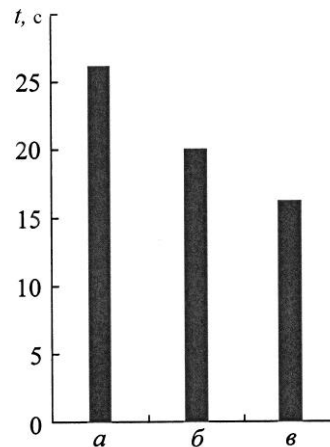
Проведено сравнение средних значений циклов, вычисленных по регрессионной модели для манипулятора ЛО-15А.10, работающего в угловой системе координат и со строго синхронным движением звеньев. Для этого подсчитано отношение

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_{3\max}}{s^* \sqrt{1/n_1 + 1/n_3}}, \quad (6)$$

где

$$s^* = \sqrt{\frac{C_1 - 1 \overline{s_1^2} + C_3 - 1 \overline{s_3^2}}{C_1 - 1 + C_3 - 1}}.$$

Рис. 2. Распределение времени циклов при движении звеньев манипулятора: *a* – раздельном; *б* – на основе прямолинейно направляющего механизма; *в* – строго синхронном



Здесь n_3 – число циклов, полученное по регрессионной модели, $n_3 = 280$.

Подсчитанное отношение (6) $t = \frac{26,119 - 16,195}{0,087} = 114,069$. Так как

оно больше табличного $t(0,99; 558) = 2,585$, то расхождение средних значимо.

На рис. 2 представлена диаграмма распределения времени циклов в зависимости от организации движения звеньев манипулятора.

Снижение времени цикла манипулятора на основе прямолинейно направляющего механизма по сравнению с раздельным по времени движением звеньев составляет 24 %, со строго синхронным – 38 %. Наши данные совпадают с результатами работы [1], где показано, что технико-экономические показатели проектируемых технических систем на уровне параметрической оптимизации улучшаются в среднем на 10...15, а в отдельных случаях до 30 %.

Проведенное имитационное моделирование процесса подачи хлыстов в раскрывочную установку (РУ) ЛО-15С показало, что увеличение производительности при загрузке РУ манипулятором на основе прямолинейно направляющего механизма составляет 2,4 % по сравнению с загрузкой хлыстов манипулятором с отдельным последовательным во времени движением звеньев. При этом экономический эффект достигается без капитальных вложений, только за счет параметрической оптимизации манипулятора. Годовой экономический эффект от использования манипулятора на основе прямолинейно направляющего механизма составляет 35 958 р. Экономика эксплуатационных затрат составляет 29 504 р., капитальных – 80 321,5 р.

Увеличение производительности РУ при загрузке манипулятором со строго синхронным движением звеньев составляет 4,3 % по сравнению с загрузкой хлыстов манипулятором с отдельным последовательным во времени движением звеньев. В этом случае оценить экономический эффект затруднительно, поскольку синхронное движение звеньев может быть достигнуто следящей системой управления или системой управления на базе микропроцессора, требующих капитальных вложений. К тому же в лесной промышленности пока нет аналогов таких систем управления.

Полученные данные позволяют наметить две стадии совершенствования двухзвенных (шарнирно-рычажных) манипуляторов. На первой стадии предлагается проектировать манипуляторы на основе прямолинейно направляющих механизмов, управляемых оператором. На второй стадии следует переходить к автоматизированному управлению манипуляторами, используя средства вычисления параметров траекторий при строго синхронном движении звеньев. Можно также проектировать манипуляторы на основе прямолинейно направляющих механизмов, что позволит оптимально управлять манипуляторами в случае выхода из строя автоматизированных систем управления. Экономическая целесообразность использования автоматизированных систем управления должна обосновываться соответствующими расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы оптимизации проектных решений/ А.И. Половинкин [и др.]; под ред. А.И. Половинкина. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: для науч. работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
3. Румицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: справ. руковод. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

Поступила 24.08.09

S.P. Dorokhov
JS Company «Start» (Ekterinburg)

Statistical Time Simulation of Timber Transfer Cycles by Two-arm Manipulator with Different Organization of its Arms' Motion

Three methods of organization of manipulator arms motion are considered when transferring timber. The comparison of methods is provided for the economic efficiency assessment of parameter optimization and improvement of manipulator system control.

Keywords: manipulator, trajectory, time, cycle, statistics, simulation.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 681.31 (058.8)

О.Д. Мюллер, В.И. Малыгин, В.Т. Харитоненко

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного
морского технического университета

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет 50 научных работ.
E-mail: oscar@mail/ru



Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Харитоненко Владимир Терентьевич родился в 1950 г., окончил в 1974 г. Московский инженерно-физический институт, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского сектора филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет около 10 научных работ в области автоматизации и управления.
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

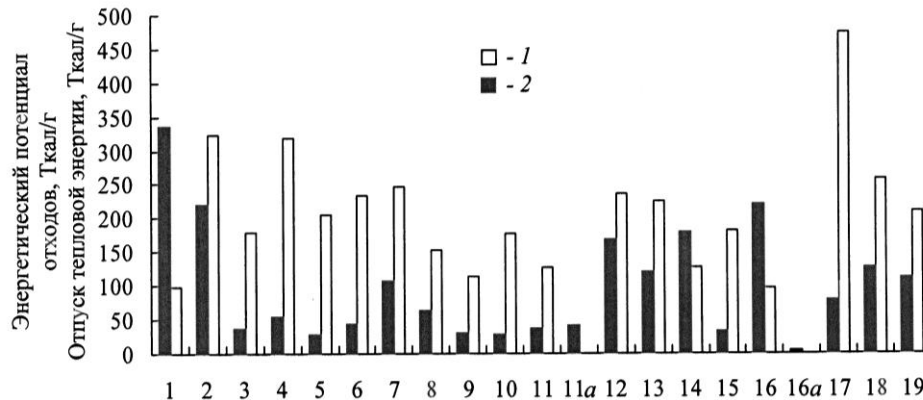


ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В МУНИЦИПАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Проанализированы перспективы использования древесных отходов в виде гранул в муниципальной энергетике Архангельской области, проведена оценка инвестиций в их использование.

Ключевые слова: лесозаготовки, древесные отходы, пеллеты, древесные гранулы, энергетический потенциал, котлы, котельные, эффективность.

Как показали исследования [1, 2], Архангельская область обладает значительным энергетическим потенциалом древесных отходов, образующихся при лесозаготовке и переработке древесины. Даже при существующем уровне заготовки древесины имеющийся энергетический потенциал в 3 раза превышает потребности муниципальной энергетики области в топливных ресурсах. Данные, приведенные на рисунке, свидетельствуют, что имеющийся доступный энергетический потенциал древесных отходов и потребности муниципальной энергетики в топливных ресурсах весьма неравномерно распределены по районам области.



Отпуск тепловой энергии (1) и энергетический потенциал древесных отходов (2) по районам области: 1 – г. Архангельск, 2 – Вельский р-н, 3 – Вилегодский р-н, 4 – Виноградовский р-н, 5 – Верхнетоемский р-н, 6 – Каргопольский р-н, 7 – Коношский р-н, 8 – Котласский р-н, 9 – Красноборский р-н, 10 – Ленский р-н, 11 – Лешуконский р-н, 11а – Мезенский р-н, 12 – Няндомский р-н, 13 – г. Онега и Онежский р-н, 14 – Пинежский р-н, 15 – Плесецкий р-н, 16 – Приморский р-н, 16а – Соловецкий р-н, 17 – Устьянский р-н, 18 – Холмогорский р-н, 19 – Шенкурский р-н

Как видно из приведенных на рисунке данных, основной энергетический потенциал сосредоточен в настоящее время в местах заготовки леса, а там, где находятся крупные муниципальные потребители энергоресурсов, он недостаточен.

Уровень использования древесного топлива в Архангельской области ограничен возможностями оборудования по его производству и сжиганию, потребностями в поставках тепловой энергии и размещением потенциала древесного топлива. Так как этот вид топлива наиболее экономически целесообразно использовать для производства тепла или электроэнергии, возможности оборудования по его сжиганию являются самым главным фактором, ограничивающим рост применения древесины. В 2006 г. около 84,4 % произведенного в муниципальной энергетике тепла было получено от сжигания искомого топлива, около 15,6 % – от древесного.

Многочисленные исследования как отечественных, так и зарубежных ученых показали, что экономически более выгодно использовать древесные отходы в качестве топлива, если котельные для их сжигания находятся на расстоянии не более 50 км. Это привело к тому, что применение древесных отходов как топливного ресурса сформировалось в основном около крупных лесопильных центров. В первую очередь, это города Архангельск и Онега.

Древесные отходы имеют низкую теплотворную способность при высокой влажности и малом удельном весе. Чтобы повысить энергетическую привлекательность древесных отходов необходимо, с одной стороны, повы-

сить их теплотворную способность, с другой – плотность. В конце прошлого века такая технология была разработана и из древесных отходов стали выработывать древесные топливные гранулы – пеллеты (wood pellets, holz-pellets или holzpellets; биогранулы, топливные гранулы, биомасса, опилочные гранулы).

Они представляют из себя нормированные цилиндрические хорошо спрессованные изделия, одинаковые по массе, из сухой остаточной древесины (мука от работы фрезерно-обрезного станка, опилки, стружка и др. отходы). Сырьем могут служить все хвойные породы и мягкие сорта древесины. Размеры гранул, мм: длина – 20...50, диаметр – 4...10.

Технологический процесс получения гранул состоит из следующих стадий: предварительное измельчение древесных отходов до размеров щепы; сушка до влажности 8...10 %; измельчение высушенного сырья до размеров не более 1 мм; прессование на специальных прессах-грануляторах без каких-либо добавок и клея под давлением около 300 атм.

В отличие от традиционных видов древесного топлива (дрова и щепа) древесные гранулы являются однородным удобным при хранении, транспортировке и использовании топливом. На изготовление 1 т пеллет в среднем требуется около 4,00 пл. м³ древесного сырья, а с учетом сушки с использованием древесного топлива – 4,15...4,20 пл. м³.

Производство древесных гранул – экологически чистый процесс. Древесные гранулы как биотопливо также имеют преимущество перед традиционными видами топлива с точки зрения охраны окружающей среды. Отходы (зола) после их сгорания минимальны (0,5...1,0 %) и могут быть использованы в качестве минерального удобрения.

Гранулы обладают высокой скоростью сгорания и значительным теплосодержанием: при сгорании 1 т древесных гранул выделяется 4,8...5,5 МВт·ч энергии, 1 т (условной) угля – 7,5 МВт·ч, 1 т мазута – 10,5 МВт·ч. В табл. 1 представлены сравнительные энергетические характеристики различных видов топлива.

Древесные гранулы получили широкое применение в Европе в качестве топлива для котельных центрального отопления и теплоэлектростанций, а также для индивидуального отопления зданий и отдельных помещений. В России производство пеллет находится на начальной стадии развития. Заводы, их выпускающие, в основном сконцентрированы вблизи границ со странами Евросоюза (Карелия, С.-Петербург и его окрестности). Производят пеллеты и на заводах, расположенных в Москве, Муроме, Мурманске, Перми, Тюмени, Кулунде (Алтайский край), Казани и Вологде. Первые заводы по производству пеллет появились в Архангельске.

Таблица 1

Энергетические характеристики топлива

Топливо	Теплота сгорания		Содержание серы	Зольность
	МВт·ч/т	Гкал/т	%	
Природный газ	9,7... 10,6	8,4...9,1	< 0,5	< 0,01
Топочный мазут	11,7	10,1	~ 1,2	~1,5
Дизельное топливо	11,9	10,3	~0,2	~1,0
Энергетический уголь	5,8...6,9	5,0...6,0	~2,0	~10,0
Распространенный уголь	4,2...5,8	3,6...5,0	2,0...3,0	~20,0
Древесные гранулы	5,3...5,8	4,5...5,0	~0,1	~0,5...0,7
Топливная щепа	2,5...3,0	2,2...2,6	~0,1	~2,0
Солома	3,6...4,2	3,1...3,6	~0,2	~4,0
Торф	2,5...3,3	2,2...2,9	<0,5	~20,0
Древесные брикеты	3,9...4,4	3,4...3,8	~0,1	~1,5
Дрова	1,7...2,8	1,4...2,4	~0,1	~5,0

Стоимость строительства заводов по выпуску пеллет зависит от мощности завода и типа применяемого пресса-гранулятора. В табл. 2 представлены расчеты средней стоимости строительства заводов по производству пеллет.

Таблица 2

Стоимость строительства завода по производству пеллет

Составляющая стоимости	Значение составляющей, млн р., для завода производительностью, тыс. т/год				
	10	15	20	30	80
Оборудование	15,75	17,60	20,60	43,20	47,76
Строительство	10,85	11,55	13,30	16,80	17,15
Всего	27,60	29,15	33,90	60,00	64,91

Котельная техника для сжигания пеллет

Специальной котельной техники для сжигания пеллет в России до настоящего времени не производилось. В Европе строительство котлов под пеллеты весьма развито, их популярность постоянно возрастает. Это оборудование весьма надежно, имеет высокий коэффициент полезного действия (85...97 %) и не вызывает затруднений в процессе эксплуатации.

В минимальный комплект оборудования автоматизированной котельной коттеджа, работающей на древесных топливных гранулах, входит котел, оборудованный горелкой для сжигания пеллет и бункером. После подключения к системам отопления, электроснабжения и загрузки бункера топливом (пеллетами) такая котельная может в течение длительного времени работать без участия человека (от одного дня и до нескольких месяцев в зависимости от конструкции).

Таблица 3

Средняя стоимость котлов на пеллетах

Показатель	Значение показателя для количества котлов, шт							
	394	386	341	302	152	142	121	63
Средняя мощность котла, Гкал	0,300	0,194	0,633	0,168	0,092	0,498	0,569	1,489
Средняя стоимость котла, тыс. р.	537,3	389,8	1121,4	389,8	318,2	792,0	885,6	2666,0

Коэффициент полезного действия специализированных котлов на пеллетах соответствует уровню газовых и жидкотопливных котлов и во многом зависит от используемой технологии сжигания пеллет. КПД пеллетных котлов с горелками объемного типа – до 95 %. Среди поставляемых в Россию моделей можно отметить Vitolig 300 от «VISSMANN» (Германия), GD-WB от «GRANDEG» (Латвия), Biomatic от «THERMIA» (Швеция), Benekov ling и Pelling 27 от «BENEKOV» (Чехия). В Европе популярны такие модели, как Pelletsessel USP от KWB (Австрия), Logano SP251 от «BUDERUS» и Pro solar от «PRO SOLAR ENERGIE-TECHNIK» (Германия) и др.

Котлы подразделяются на бытовые и промышленные. Мощность бытовых котлов составляет от 15 до 100 кВт, промышленных – до 1200 кВт.

Из имеющихся в Архангельской области 737 отопительных котельных свыше 170 обслуживают отдельно стоящие здания. На этих котельных установлено 350 котлов тепловой мощностью от 20 до 250 кВт. Для оценки инвестиций в модернизацию котельных используем усредненные мощности котлов и среднюю стоимость котлов для сжигания пеллет по данным производителей (табл. 3).

Использование древесных гранул в дизель-генераторных установках

В Архангельской области имеется 68 дизельных электростанций (ДЭС), на нужды которых ежегодно требуется около 16 542 т дизельного топлива. Все эти ДЭС, как правило, расположены в трудно доступных местностях, завоз дизельного топлива на них осуществляется один раз в год, что существенно увеличивает его стоимость. В конечном итоге это повышает себестоимость 1 кВт·ч отпускаемой ДЭС электроэнергии.

Для двигателей внутреннего сгорания можно использовать пиролизные газы от газификации древесного топлива. На генераторном газе могут работать любые двигатели внутреннего сгорания: карбюраторные, инжекторные, дизели. Октановое число генераторного газа – 110...140. Моторесурс двигателей, работающих на генераторном газе, больше, чем у двигателей, работающих на бензине или дизтопливе. В настоящее время разработаны современные газогенераторы для различных типов электростанций, автомобилей, тракторов, насосных станций.

С точки зрения получения генераторного газа для дизелей на ДЭС древесные гранулы с их очень низкой влажностью являются отличным сырьем.

Оценка инвестиций в организацию производства древесных гранул и перевод муниципальной энергетики на их сжигание

В Архангельской области под сжигание пеллет может быть реконструировано 737 котельных, среднегодовой отпуск тепла с которых составляет 2 316,86 Ткал. Для выработки такого количества тепловой энергии в год потребуется сжечь $2\,316\,860 / (4,5 \cdot 0,9) = 572\,064$ т пеллет. Экономически целесообразным является строительство заводов по производству древесных гранул мощностью от 30 тыс. т/год. Таким образом, для ежегодной выработки требуемого количества пеллет необходимо в Архангельской области построить 20 таких заводов. На строительство и пуск в эксплуатацию такого количества заводов потребуется около $60 \cdot 20 = 1\,200$ млн р. инвестиций.

На реконструкцию и перевод 737 котельных на сжигание древесных гранул потребуется (табл. 3) около 2 120 млн р. инвестиций.

Общее количество инвестиций в строительство заводов по производству древесных гранул и переводу муниципальной энергетики на их сжигание составит 3 320 млн р.

Экологический аспект

Экологический эффект от использования древесных гранул складывается из следующих составляющих.

1. *Снижение парникового эффекта.* Освобождаемый при сгорании древесных гранул углекислый газ CO_2 образует углекислоту, которая относится к «нейтральным». Древесина освобождает столько CO_2 , сколько приняла во время роста (закрытый углеродный обмен). При этом не повышается содержание CO_2 в атмосфере и не возникает антропогенный парниковый эффект.

2. *Уменьшение количества кислотных дождей.* Наряду со снижением выбросов углекислоты при использовании в качестве топлива древесных гранул происходит уменьшение выбросов двуокиси (диоксида) серы SO_2 . Это в свою очередь уменьшает количество кислотных дождей, приводящих к гибели лесов. Использование пеллет в качестве топлива в конечном итоге работает на сбережение лесов.

3. *Снижение рисков при транспортировке.* Загрязнение окружающей среды при авариях нефтеналивных танкеров, на газо- и нефтепроводах, электростанциях, в том числе АЭС, автомобильном и железнодорожном транспорте, почти полностью исключается при использовании пеллет. А опасность взрывов, аварий, пролива горючего, вредных выбросов низкая по сравнению с ископаемыми видами топлива.

Таким образом, если в полном объеме перевести муниципальную энергетику на сжигание древесного топлива, то:

ежегодные потребности области в топливных ресурсах сократятся на 500 376 т каменного угля, 21 198 т мазута и 3 237 т дизельного топлива. С учетом дизельного топлива для ДЭС потребность области в дизельном топливе сократится на 19 779 т/год;

ежегодный выброс CO_2 снизится на

$$500\,376 \cdot 3,04 + 21\,198 \cdot 3,16 + 3\,237 \cdot 3,20 = 1\,598\,487 \text{ т};$$

ежегодный выброс SO_2 снизится на

$$500\,376 \cdot 0,016 + 21\,198 \cdot 0,020 + 3\,237 \cdot 0,005 = 8\,446 \text{ т.}$$

С учетом топлива для ДЭС это сокращение для CO_2 составит 1 651 421 т/год, для SO_2 – 8529 т/год.

Помимо уменьшения вредных выбросов в атмосферу, реализация перехода на сжигание древесного топлива резко сократит загрязнение земельных угодий угольным шлаком (ориентировочно вывоз шлака на угольные свалки снизится на 150 тыс. т/год). Вместо шлака будет образовываться древесная зола около (5 720 т/год), которая является ценнейшим удобрением и может быть использована как в сельском хозяйстве, так и для восстановления вырубленных лесов.

Использование пеллет для отопления приведет к сокращению количества свалок древесных отходов, благоприятно скажется на экологической обстановке в регионе, так как, с одной стороны, гниющая древесина загрязняет подземные и речные воды продуктами своего распада, с другой – при гниении древесины в атмосферу выделяется метан, парниковый эффект от которого в 22 раза выше, чем от углекислого газа.

Предпочтительное размещение заводов по производству пеллет

Реальная поставка древесного топлива зависит от наличия, размещения древесных ресурсов в сравнении со спросом на тепло и ценой. Дрова доступны по разумной цене почти на всей территории Архангельской области. В настоящее время используется только 14 % ресурсов дров, и уровень использования может быть легко увеличен до 50 % (если бы такая потребность существовала).

Лесосечные отходы в настоящее время не собираются, и крупномасштабное использование их маловероятно в течение ближайшего будущего. С другой стороны, существуют передвижные рубительные машины, и использование отходов от лучших и самых близких участков заготовки леса было бы возможно. Однако использование лесосечных отходов вероятнее всего начнется только тогда, когда спрос на дрова и промышленные отходы достигнет или превысит их поставку.

Отходы лесной промышленности – наиболее прибыльный источник древесного топлива, так как их производство расположено близко к промышленному спросу на тепло и они могут быть использованы для производства тепла на нужды отопления. Крупные предприятия лесной промышленности уже утилизируют большинство своих отходов, но мелкие заводы имеют их излишек.

Исходя из выше изложенного, в табл. 4 представлен предполагаемый план размещения заводов по производству древесных гранул по районам области. В этой же таблице представлен план необходимых инвестиций в их строительство, а также на реконструкцию и перевод муниципальных отопительных котельных на сжигание древесных гранул. В качестве базового варианта за основу был выбран завод по производству древесных гранул мощностью 30 тыс. т/год.

Таблица 4

План размещения заводов по производству древесных гранул и необходимые инвестиции для перехода муниципальной энергетики Архангельской области с ископаемого топлива на древесные гранулы

Муниципальное образование	Отпуск тепла	Потенциал древесных отходов (без лесосечных)	Количество заводов по производству пеллет	Инвестиции в заводы по производству пеллет	Инвестиции в реконструкцию котельных
	Ткал/год			млн р.	
г. Архангельск	336,9	98,5	–	–	77
Вельский район	221,1	324,1	2	114	339
Вилегодский «	36,4	178,1	1	57	49
Виноградовский «	53,8	319,5	2	114	33
Верхнегоемский «	28,5	205,6	1	57	106
Каргопольский «	43,6	234,6	1	57	59
Коношский «	107,3	247,1	1	57	89
Котласский «	64,3	152,3	1	57	86
Красноборский «	31,0	113,0	–	–	60
Ленский «	29,2	176,2	1	57	26
Лешуконский «	37,5	127,4	–	–	63
Мезенский «	41,4	0	–	–	34
Няндомский «	167,8	236,4	1	57	229
Онежский «	119,0	225,0	–	–	34
Пинежский «	178,7	126,8*	2	114	168
Плесецкий «	33,3	181,9	1	57	84
Приморский «	220,0	95,2	–	–	280
Соловецкий «	4,3	0,0	–	–	3
Устьянский «	77,9	473,1	3	171	106
Холмогорский «	125,9	257,6	2	114	134
Шенкурский «	110,8	209,2	1	57	61

*Без учета энергетического потенциала усыхающих лесов.

При составлении этого плана учитывалось количество в каждом районе свободного доступного энергетического потенциала древесных отходов, а также количество тепловой энергии, вырабатываемой на ископаемом топливе. Так как технологический процесс производства древесных гранул требует значительного количества свободных электрических мощностей, то при определении мест размещения заводов также учитывалось обеспечение районов электроэнергией. Также предполагалось, что в первую очередь под сжигание древесных гранул будут реконструироваться котельные в районах строительства заводов по производству древесных гранул. Избыток произведенных древесных гранул будет поставляться в те районы, где свободных древесных отходов недостаточно для обеспечения сырьем завода мощностью 30 тыс. т древесных гранул в год. В будущем возможно будет рассмотреть вопрос о строительстве в этих районах заводов по производству древесных гранул меньшей производительности.

На первом этапе завод по производству древесных гранул наиболее перспективно разместить в Устьянском районе, на втором – в Пинежском и Верхнетоемском районах. Следующие заводы запланированы в Вельском и Виноградовском районах. Очередность строительства остальных заводов следует определить при более детальной проработке планов.

На основании проведенных анализов состояния топливно-энергетического баланса и уровня развития лесопромышленного комплекса области можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее перспективным методом использования древесных отходов является переработка их в топливные гранулы с последующей реконструкцией и модернизацией отопительных котельных под их сжигание.

2. Полученные из древесных отходов топливные гранулы в перспективе могут успешно вытеснить дизельное топливо на дизельных электростанциях области.

3. Широкое использование древесных гранул в муниципальной энергетике позволит существенно снизить и стабилизировать тарифы на тепловую и электрическую энергию, что послужит толчком к развитию экономики, особенно, отдаленных районов.

4. Строительство в Архангельской области комплекса из 20 заводов по производству древесных гранул позволит дополнительно создать около 1000 новых рабочих мест.

5. В связи с тем, что в России нет предприятий, занимающихся выпуском малых котельных агрегатов для сжигания древесных гранул, это может послужить толчком для создания в области нового вида производства по выпуску котлов для сжигания пеллет. Кадровый и промышленный потенциал для этого есть.

6. Перевод муниципальной энергетике на использование вместо привозного ископаемого топлива возобновляемых топливных ресурсов в виде древесных гранул местного производства значительно повысит энергетическую безопасность области.

7. Переход муниципальной энергетики на древесные гранулы улучшит экологическую обстановку в регионе.

8. Проекты по строительству заводов по производству древесных гранул и переводу муниципальных котельных на их сжигание перспективны для привлечения инвесторов как проекты «совместного осуществления» в рамках Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН по изменению климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ энергетического потенциала древесных отходов в лесопромышленном комплексе Архангельской области / О.Д. Мюллер [и др.] // Лесн. журн. – 2010. – № 3. – С. 94–101. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Харитonenko В.Т. Анализ использования древесных отходов в муниципальной энергетике Архангельской области // Лесн. журн. – 2010. – № 2. – С. 98–103. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 29.05.09

O.D. Müller, V.I. Malygin V.T. Kharitonenko

«Sevmashvtuz», Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

Prospects of Wood Waste Use in Municipal Energy Sector of Arkhangelsk Region

The prospects of wood waste use in the form of pellets are analyzed for the municipal energy sector of the Arkhangelsk region . The investments and their use are assessed.

Keywords: forest harvesting, wood wastes, pellets, wooden pellets, energy potential, boilers, boiler-houses, efficiency.

УДК 674.047

И.М. Меркушев

Московский государственный университет леса

Меркушев Иван Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1957 г. Московский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии мебели и изделий из древесины Московского государственного университета леса. Имеет свыше 100 печатных работ в области деревообработки и развития лесосушильной техники и технологии сушки древесных материалов.
Тел.: (8495) 512-75-92



КИНЕТИКА БЕЗДЕФЕКТНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Выведены уравнения для расчета продолжительности сушки пиломатериалов; обоснованы принципы построения безопасных режимов конвективной сушки пиломатериалов; получены формулы для прогнозирования текущей влажности пиломатериалов в процессе сушки и графическая интерпретация безопасных режимов сушки пиломатериалов.

Ключевые слова: кинетика, полный период, бездефектная сушка, трансцендентные функции, психрометрическая разность, режимы.

Концепция построения и расчета безопасных режимов конвективной сушки пиломатериалов для повышения эффективности процесса дает возможность оценивать конечную влажность материала по состоянию сушильного агента и длительности процесса. Это требует простого и доступного метода оценки продолжительности безопасной сушки разных пиломатериалов при различных условиях.

В работе были поставлены следующие задачи:

разработать методы расчета продолжительности полного периода и режимов бездефектной сушки пиломатериалов, координированных по ее продолжительности;

построить диаграммы оптимальных режимов бездефектной сушки пиломатериалов основных древесных пород, координированных по продолжительности сушильного процесса.

Метод расчета продолжительности полного периода бездефектной сушки пиломатериалов

Вывод формул для расчета продолжительности полного периода бездефектной сушки пиломатериалов (T , сут) основан на отношении массы (M , кг) удаляемой из них влаги

$$M = 0,01 E \rho_6 \Delta W_{\tau_i} \quad (1)$$

к скорости ее перемещения (i , кг/с) изнутри к поверхности сортимента:

$$i = F \rho_0 a' du/dx. \quad (2)$$

Здесь E – объем партии высушиваемого материала, м³;
 ρ_6 и ρ_0 – плотность базисная и сухой древесины, кг/м³:

$$\rho_0 \approx 1,2 \rho_6; \quad (3)$$

ΔW_{τ_i} – снижение влажности сортимента в i -й фазе за время

T_i , %:

- в 1-й фазе, от начальной W_n до первой переходной W_{c_1} влажности:

$$\Delta W_{\tau_{0-1}} = W_n - W_{c_1} = \Delta W_s/3; \quad (4)$$

- во 2-й фазе простого режима сушки с учетом гистерезиса сорбции $\Delta W_k = 2,5$ %:

$$\Delta W_{\tau_{1-k}} = W_n - \Delta W_s/3 - 2,5; \quad (5)$$

- во 2-й фазе постоянной скорости сушки форс-режима:

$$\Delta W_{\tau_{1-2}} = W_{c_1} - W_{c_2} = W_n - \Delta W_v - \Delta W_s; \quad (6)$$

- в 3-й конечной фазе форс-режима:

$$\Delta W_{\tau_{2-k}} = 2/3 \Delta W_s + \Delta W_v - 2,5; \quad (7)$$

ΔW_s – перепад влагосодержания по толщине сортимента;

F – площадь поверхности испарения всех досок в штабеле, m^2 :

$$F = 2E/S; \quad (8)$$

S – расчетная толщина сортимента при ее реальных размерах a и b , м:

$$S = ab/(a + b); \quad (9)$$

a' – коэффициент влагопроводности древесины, определяемый по диаграммам П.С. Сергеевского [4] или по соответствующим им формулам автора [1], cm^2/c или m^2/c :

- для заболони:

$$a'_z = 112\rho_6^{-4} t^2 \text{ или } 0,0112 t^2/\rho_6^4; \quad (10)$$

- для ядра:

$$a'_y = 76\rho_6^{-4} t^2 \text{ или } 0,0076 t^2/\rho_6^4; \quad (11)$$

- в среднем:

$$a' = 94\rho_6^{-4} t^2 \text{ или } 0,0094 t^2/\rho_6^4. \quad (12)$$

du/dx – средняя величина градиента влагосодержания древесины:

- в начальной фазе режима:

$$du/dx = 2/3 \cdot 0,01\Delta W_s : (0,1S) = 0,0666 \Delta W_s/S; \quad (13)$$

- в фазе стационарного режима:

$$du/dx = 0,01 \cdot 2/3 \cdot \Delta W_s : (S/5) = 0,0333 \Delta W_s/S; \quad (14)$$

- в конечной фазе сушильного процесса:

$$du/dx = 0,01 \cdot 1/3 \cdot \Delta W_s : (S/5) = 0,01666 \Delta W_s/S. \quad (15)$$

Преобразованием выражений (2)–(15) получены уравнения для расчета полной продолжительности сушильного процесса (T_i , с):

$$T_i = 0,01\Delta W_{\tau_i} \rho_6 E : (F\rho_0 a' (du/dx)) = 0,4433\rho_6^4 St^{-2} (\Delta W_{\tau_i} : (du/dx)). \quad (16)$$

При T в сутках и S в миллиметрах имеем

$$T_i = 5,13 \cdot 10^{-12} \rho_6^4 St^{-2} (\Delta W_{\tau_i} : (du/dx)). \quad (17)$$

Полная продолжительность сушильного процесса:

- начальной фазы:

$$T_{0-1} = 0,257 \cdot 10^{-10} \rho_6^4 (S/t)^2; \quad (18)$$

- конечной 2-й фазы:

$$T_{1-к} = 3,078 \cdot 10^{-10} \rho_6^4 (S/t)^2 (W_H - 2,5) / (\Delta W_s - 0,333); \quad (19)$$

- средней фазы:

$$T_{1-2} = 1,54 \cdot 10^{-10} \rho_6^4 (S/t)^2 (W_H - \Delta W_v - \Delta W_s) / \Delta W_s; \quad (20)$$

- конечной 3-й фазы:

$$T_{2-к} = 3,078 \cdot 10^{-10} \rho_6^4 (S/t)^2 (\Delta W_v - 2,5) / (\Delta W_s + 0,666). \quad (21)$$

Суммарная продолжительность сушильного процесса:

- простого:

$$T_{п} = T_{2ф} = (\rho_6/284)^4 (S/t)^2 [(2W_H - 5) / (\Delta W_s - 0,5)]; \quad (22)$$

- форс-процесса:

$$T_{ф} = T_{3ф} = (\rho_6/284)^4 (S/t)^2 [(W_H + \Delta W_v - 5) / (\Delta W_s + 0,5)]; \quad (23)$$

- оптимального:

$$T_o = T = (\rho_6/284)^4 (S/t)^2 (1,5W_H + 0,5\Delta W_v - 5) / \Delta W_s; \quad (24)$$

- или осредненного при $W_H \approx 70\%$ и $\Delta W_v = 6/v$:

$$T_o = (3v^{-1} + 100) 284^{-4} \rho_6^4 S^2 t^{-2} \Delta W_s^{-1}. \quad (25)$$

Метод расчета и построение режимов бездефектной сушки пиломатериалов, координированных по ее продолжительности

Характер снижения текущей влажности высушиваемого сортамента от начальной W_H до конечной W_K влажности в относительном времени

$$\theta = \tau/T \quad (26)$$

может быть описан трансцендентной функцией

$$W(\theta) = (W_H - W_K)^{2-3\theta^2}. \quad (27)$$

Для сушильного процесса в реальном времени (τ , сут) при конечной влажности, близкой к гистерезису сорбции $W_K = 2,5\%$, функция $W(\tau)$ из формул (25) – (27) принимает следующий вид:

$$W(\tau) = (W_H - 2,5)^{2-3 \left[\frac{284^4 t^2 S^{-2} \Delta W_s \tau}{\rho_6^4 (100+3v^{-1})} \right]^2} + 2,5. \quad (28)$$

Рациональное ведение процесса требует в целях обеспечения безопасности режима соблюдать величину допустимого перепада влажности по толщине сортамента, а в целях его интенсификации не стабилизировать равновесную влажность на определенных уровнях, как в стандартных ступенчатых режимах, а непрерывно снижать ее по мере уменьшения влажности сортамента по нижеприведенной формуле:

$$W_p(\tau) = \frac{(W_H - 6v^{-1} - \Delta W_s)}{W_H - 0,333\Delta W_s} W(\tau). \quad (29)$$

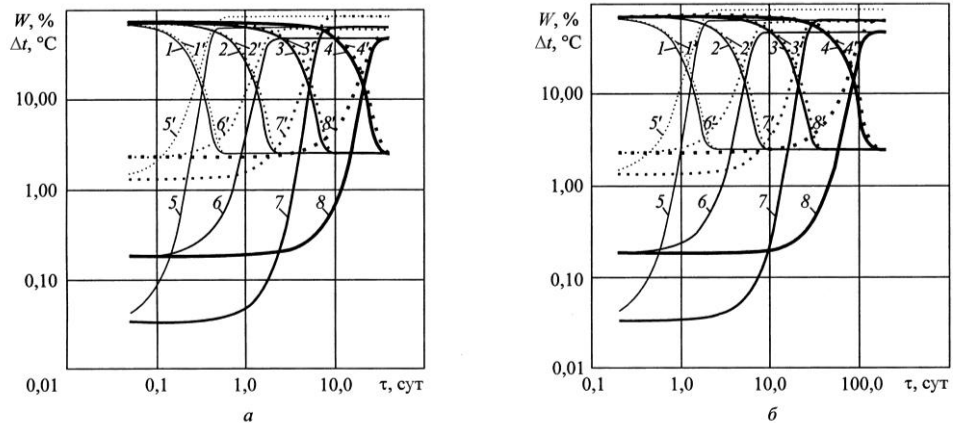
Совместным решением уравнений текущей $W(\tau)$ и равновесной $W_p(\tau)$ влажности и из формул (28) и (29) с использованием выражения [2]

$$\Delta t(W_{p,t}) = \left[\frac{\left(88 - 0,0025t \right)^{0,44-0,01t-W_p^{0,66+10^{-6},2,6}} \left(0,74+10^{-17} \cdot (146-t)^{7,77} \right)}{0,006 + 0,0000 \left(120-t \right)^{1,46}} \right] \quad (30)$$

получена функциональная зависимость режимной психрометрической разности сушильного агента от продолжительности процесса сушки $\Delta t(\tau) = \Delta t(t, S, \rho_6, x, v, W_s, W_H, \tau)$, представленная в развернутом виде следующей формулой:

$$\Delta t(\tau) = \frac{\left(1.88 - \frac{t}{400}\right) \left[\frac{1.44 \cdot t}{91} \cdot \frac{2.5 + (W_H - 2.5)^{2-3}}{\left(W_H - \Delta W_s \cdot \int_0^1 x^2 dx \right) \cdot \left(W_H - \Delta W_s \cdot \frac{6}{v} \right)^{-1}} \cdot \tau^2 \cdot \left(\frac{\rho_6^4 \cdot S^2 \cdot 100 + \frac{3}{v}}{284^4 \cdot t^2 \cdot \Delta W_s} \right)^{-2} \right]^{\frac{0.66t}{10^6} \cdot \frac{t^{2.6}}{10^6}}}{0.006 + 0.00001 \cdot (120 - t)^{1.46}} \cdot \frac{1}{1.074 + \frac{(146-t)^{7.77}}{10^{17}}} \quad (31)$$

Построение режимов бездефектной сушки пиломатериалов, координированных по продолжительности процесса, приведено на рисунке (в логарифмической координатной сетке) в виде универсальных графиков оптимальных режимов сушки пиломатериалов разных пород с использованием формул (28) и (31).



Оптимальные режимы сушки еловых, кедровых, сосновых (а, $\rho_6 = 377 \text{ кг/м}^3$) и дубовых, буковых, ясеневых, кленовых, лиственничных (б, $\rho_6 = 533 \text{ кг/м}^3$) пиломатериалов ($W_H = 70 \%$; $\Delta W_s = 35 \%$; $x = 1$) при различных значениях t , S и v : 1, 1', 3, 3', 5, 5', 7, 7' – $t = 90 \text{ }^\circ\text{C}$; 2, 2', 4, 4', 6, 6', 8, 8' – $t = 45 \text{ }^\circ\text{C}$; 1, 1', 2, 2', 5, 5', 6, 6' – $S = 22,5 \text{ мм}$; 3, 3', 4, 4', 7, 7', 8, 8' – $S = 90,0 \text{ мм}$; 1 – 8 – $v = 2,4 \text{ м/с}$; 1' – 8' – $0,3 \text{ м/с}$

Продолжительность сушки (τ , сут) до заданной конечной влажности W_k рекомендуется прогнозировать по следующей формуле:

$$\tau = \frac{100 + 3v^{-1}}{t^2 S^{-2} \Delta W_s} \cdot \frac{\rho_6^4}{259^4} \log \left(2 - \frac{\log(W_k - 2,5)}{\log(W_H - 2,5)} \right)^{0,5}. \quad (32)$$

Данные режимы сушки прошли проверку в производственных условиях, в частности в тент-сушилках [3], и показали высокую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркушев И.М. К вопросу построения режимов конвективной сушки пиломатериалов // Технология и оборудование для переработки древесины: Сб. науч. тр. – Вып. 335. – М.: МГУЛ, 2006.
2. Меркушев И.М. Психрометрическая диаграмма равновесной влажности древесины // Лесн. журн. – 2010. – № 3. – С. 90–93. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Пат. 2170896 РФ. Способ сушки пиломатериалов / И.М. Меркушев. 29.12.1999.
4. Серговский П.С. Исследование влагопроводности и разработка методов расчета процесса сушки и увлажнения древесины: дисс. ... докт. техн. наук. – М., 1954.

Поступила 25.06.09

I.M. Merkushev
Moscow State Forest University

Kinetics of Defect-free Sawn Timber Drying

The equations for calculating the time of sawn timber drying are derived; the principles of building safe modes for convection drying are justified; the formulae are obtained for predicting the current moisture content of sawn timber in the drying process and graphical interpretation of the safe drying mode.

Keywords: kinetics, complete period, defect-free drying, transcendent functions, psychometric difference, modes.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.014:66.092.088

Д.Г. Чухчин, Н.А. Матонина, **О.М. Соколов**

Северный (Арктический) федеральный университет

Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 80 печатных работ в области химической переработки древесины.
E-mail: dimatsch@mail.ru



Матонина Наталья Александровна родилась в 1977 г., окончила в 2000 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета.
Тел.: (8182) 21-61-45

**ДЕСТРУКЦИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ (ЭПП)**

Предложен основной механизм деструкции целлюлозных материалов при воздействии ЭПП.

Ключевые слова: электронно-пучковая плазма, ультрафиолетовая спектроскопия, инфракрасная спектроскопия, дегидратация, пиролиз, деструктурированная целлюлоза.

Для плазмохимической обработки целлюлозы (как и подавляющего большинства других органических материалов) используют только низкотемпературную плазму, поскольку при высокой температуре возможен лишь пиролиз [8]. Низкотемпературная плазма может быть равновесная ($T_e \approx T_i \approx T_a$) и неравновесная ($T_a \approx T_i \ll T_e$), где T_a , T_i , T_e – температура соответственно атомов, ионов и электронов в плазме [7].

Применяемая в промышленности газоразрядная неравновесная низкотемпературная плазма [13] ограничена в выборе плазмообразующих газов и создается при давлении порядка нескольких десятков паскалей, что приводит к крайне низкой концентрации активных частиц. Кроме того, воздействие этой плазмы оказывает влияние только на поверхностный слой толщиной в несколько микрон.

Электронный пучок создает плазму из любого газа, а температура обрабатываемого образца, например, при давлении 1000...2000 Па не превышает 100 °С. При этом электроны могут проникать в материал на сотни микрон [9].

Для создания равновесной плазмы плазмообразующему газу энергия может быть передана теплопередачей в виде поступательного движения молекул. Возбуждение вращательных и колебательных степеней свободы, а тем более образование радикалов и ионов происходит лишь при высокой температуре. Следует отметить, что в многоатомных газах обмен энергией между поступательными и внутренними степенями свободы может быть замедлен [6].

В плазме, образованной электронным пучком, в первую очередь образуются ионы, радикалы и химически активные молекулы, насыщенные вращательной и колебательной энергией. При этом поступательная энергия тяжелых частиц остается низкой. Например, при температуре 40 °С ЭПП может иметь такую же концентрацию ионов, как и равновесная плазма при 1000 °С [2].

При попадании частиц плазмы на молекулы целлюлозы происходит локальное увеличение энергии ее элементарных звеньев, которые при этом должны превращаться в наиболее энергетически выгодные структуры. Аналогичные процессы происходят при пиролизе целлюлозы: распад на левоглюкозан, дегидратация, дегидрирование, ароматизация и обугливание. Однако при пиролизе все звенья образца целлюлозы получают энергию одновременно, и продукты пиролиза интенсивно взаимодействуют друг с другом. Пиролиз в вакууме позволяет удалить из зоны нагрева левоглюкозан и получать продукт с высоким выходом. Авторами работы [8] установлено, что распад целлюлозы (ее кристаллической части) при пиролизе до левоглюкозана идет по цепному механизму.

Природная целлюлоза имеет кристаллические и аморфные области. Безреагентное изменение типа кристаллической решетки целлюлозы, т. е. разрыв внутри- и межмолекулярных водородных связей, возможен только при температуре более 200 °С [12]. Однако высокая энергия плазмообразующих частиц способна локально перераспределять водородные связи без существенного нагрева всего образца.

ЭПП состоит из «быстрых» электронов, способных проникать в любые области целлюлозы и разрушать там любые химические связи, и остальных частиц, которые взаимодействуют с поверхностью образца и частично проникают в аморфные участки [4].

Экспериментально доказана интенсивная модификация целлюлозы, крахмала, древесины, торфа, бурых углей, хитозана и возможность получения в результате их пучково-плазменной обработки продуктов с ценными свойствами [3].

Нами установлено, что при обработке лиственной сульфатной беленой целлюлозы ЭПП ($U_{\text{пучка}} = 30\ 000\ \text{В}$, $I = 5\ \text{мА}$, плазмообразующий газ – H_2O) резко снижается степень полимеризации, увеличивается растворимость в воде и 5 %-м растворе NaOH (табл. 1). Целлюлоза приобретает желтоватый оттенок, утрачивает волокнистую структуру и становится хрупкой.

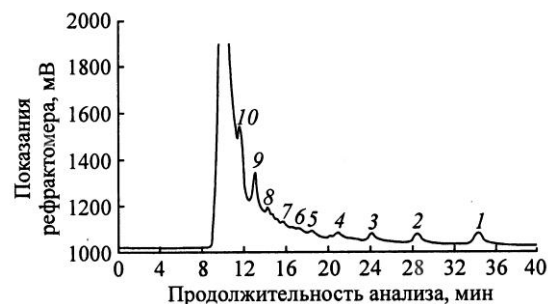
Таблица 1

Состав обработанной ЭПП сульфатной лиственной беленой целлюлозы

Продолжительность обработки, мин	Водорастворимые вещества, %	Щелочерастворимые вещества, %	Остаток после щелочной экстракции, %	Степень полимеризации остатка
0	1,8	6,8	93,2	960
2	22,7	45,3	54,7	460
10	77,4	100	0,0	–

При анализе водного экстракта плазмохимически обработанной целлюлозы хроматографическим методом с помощью колонки «Rezex RSO-Oligosaccharide Ag⁺ 4 %» обнаружены олигомерные продукты деструкции целлюлозы со степенью полимеризации (СП) от 1 до 10 и более. С уменьшением СП до 6 концентрация углеводов в экстракте снижается (рис. 1), а далее резко возрастает.

Рис. 1. Хроматограмма олигосахаридных продуктов деструкции целлюлозы (цифрами от 1 до 10 обозначена СП продуктов деструкции)



Исходя из вышеизложенного, макромолекулярную деструкцию целлюлозы при воздействии ЭПП можно представить как изменение молекулярно-массового распределения (рис. 2).

Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение исходной (1) и обработанной ЭПП в течение 2 (2) и 10 мин (3) целлюлозы



Таблица 2

**Характеристика водорастворимых веществ,
выделенных из сульфатной лиственной беленой целлюлозы после обработки ЭПП**

Продолжительность обработки, мин	рН водного экстракта	РВ, %	
		до инверсии	после инверсии
0	5,66	–	–
2	3,95	35,5	68,5
10	3,48	42,3	61,6

Особый интерес представляет изучение химических изменений, происходящих в целлюлозе при воздействии ЭПП. Их можно обнаружить химическим, спектрометрическим и хроматографическим анализом продуктов обработки.

Из табл. 2 видно, что обработка ЭПП ведет к накоплению карбоксильных групп, снижению степени полимеризации продуктов деструкции и частичному разрушению РВ. Необходимо отметить, что окрашивающие вещества в образцах полностью растворимы в воде и щелочи, так как остаток после экстракции такой же белый, как исходная целлюлоза.

Исследование УФ-спектров водорастворимых веществ показывает наличие карбонильных групп, о чем свидетельствует полоса поглощения с максимумом при 260 нм. Это же подтверждает и ИК-спектр, где появляется широкая полоса в области 1720...1750 см⁻¹, характеризующая разнообразные С=О-связи.

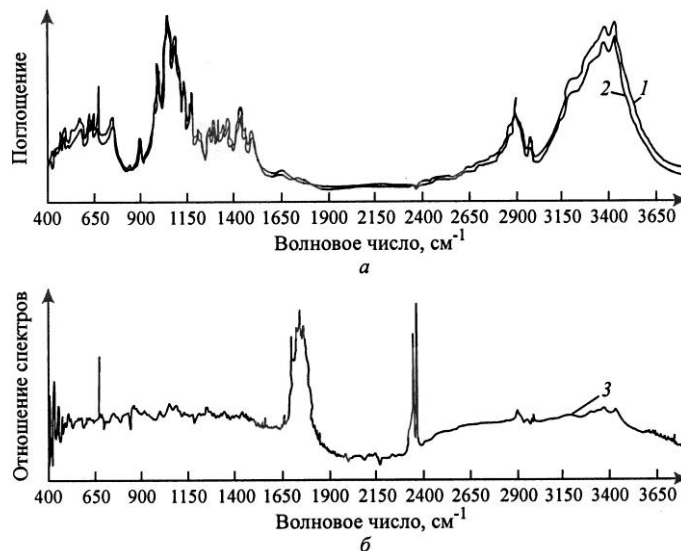
Целью данной работы являлось изучение механизма деструкции целлюлозных материалов при воздействии ЭПП.

При анализе состава обработанной ЭПП древесины осины обнаружено, что содержание РВ, определяемое после гидролиза разбавленной кислотой [9], повышается всего от 25 до 32 %, а содержание щелочерастворимых веществ (10 % NaOH) – от 23 до 75 %. Это могло произойти потому, что в условиях анализа разбавленная кислота не способна проникать в кристаллические участки целлюлозы, а щелочь вызывает их набухание и последующее растворение деструктированной целлюлозы.

Для установления механизма воздействия ЭПП на целлюлозу были подвергнуты обработке микрокристаллическая целлюлоза, целлофан, волокна сульфатной хвойной беленой целлюлозы, целлюлоза в составе древесины, а в качестве низкомолекулярной модели целлюлозы – целлобиоза.

Методами УФ-, ИК-спектроскопии и различными видами ВЭЖХ определены продукты деструкции целлюлозы. Установлено, что при увеличении длительности или энергоемкости обработки наблюдается образование хромофорных групп. Обнаружено значительное содержание карбоксильных и карбонильных групп [9]. Целлюлозные образцы утрачивали волокнистую структуру и приобретали хрупкость. Поверхность целлюлозы, обращенная в сторону плазменного пучка, приобретала желтый оттенок. Водная экстракция по методике [10] полностью обесцвечивала целлюлозу, что также подтверждается ИК-спектрами.

Рис. 3. ИК-спектры целлобиозы (а) и отношение (2/1) спектров (б, кривая 3): 1 – исходная; 2 – обработанная ЭПП целлобиоза



Кроме сульфатной беленой целлюлозы, обработке подвергали образцы целлофана (пленка толщиной 28 мкм), которые также желтели и становились хрупкими. ИК-спектры отражения записывали с обеих сторон. Глубина проникновения ИК-излучения в образец составляла менее 2 мкм. Тыльная сторона пленки на спектрах практически не имела отличий по сравнению с необработанным целлофаном. Небольшие изменения были связаны с уменьшением интенсивности полос, ответственных за скелетные колебания пиранозного кольца и С–О–С-связи. Спектр обработанной ЭПП стороны имел массу отличий, особенно, в области с максимумом 1720 см^{-1} . Такие изменения характерны для $-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{CH}_2-$ групп [1, 5]. Имелось увеличение интенсивности полос в области $1560\dots 1670\text{ см}^{-1}$ (максимум – 1625 см^{-1}). Вероятно, эта область является суперпозицией пиков кристаллизационной воды, С=С-связей и асимметричных валентных колебаний СОО-групп. Кроме того, наблюдалось уменьшение содержания ОН-групп, С–О–С-связей одновременно с ростом содержания CH_3- и CH_2- групп.

В отличие от целлофана, обработанная ЭПП целлобиоза имела более четкий спектр (рис. 3), а основное изменение наблюдалось в области 1745 см^{-1} , что более характерно для С=О-групп в кислотах и лактонов [1, 5].

Электрон с высокой энергией способен разрушить тысячи любых химических связей, в том числе и в кристаллической решетке, но образовавшиеся при этом ионы и радикалы не могут пространственно удалиться друг от друга, и вероятность рекомбинации этих ионов и радикалов очень высока. Результатом такого воздействия может быть только нагрев образца [11]. Исключение составляет разрыв 1-4-β-гликозидной связи, при котором вместо макромолекулы получается два остатка и образуется молекула лево-глюкозана (рис. 4). Подобная реакция наблюдается при пиролизе целлюлозы [8] с высокой степенью кристалличности в вакууме. Там она носит цепной

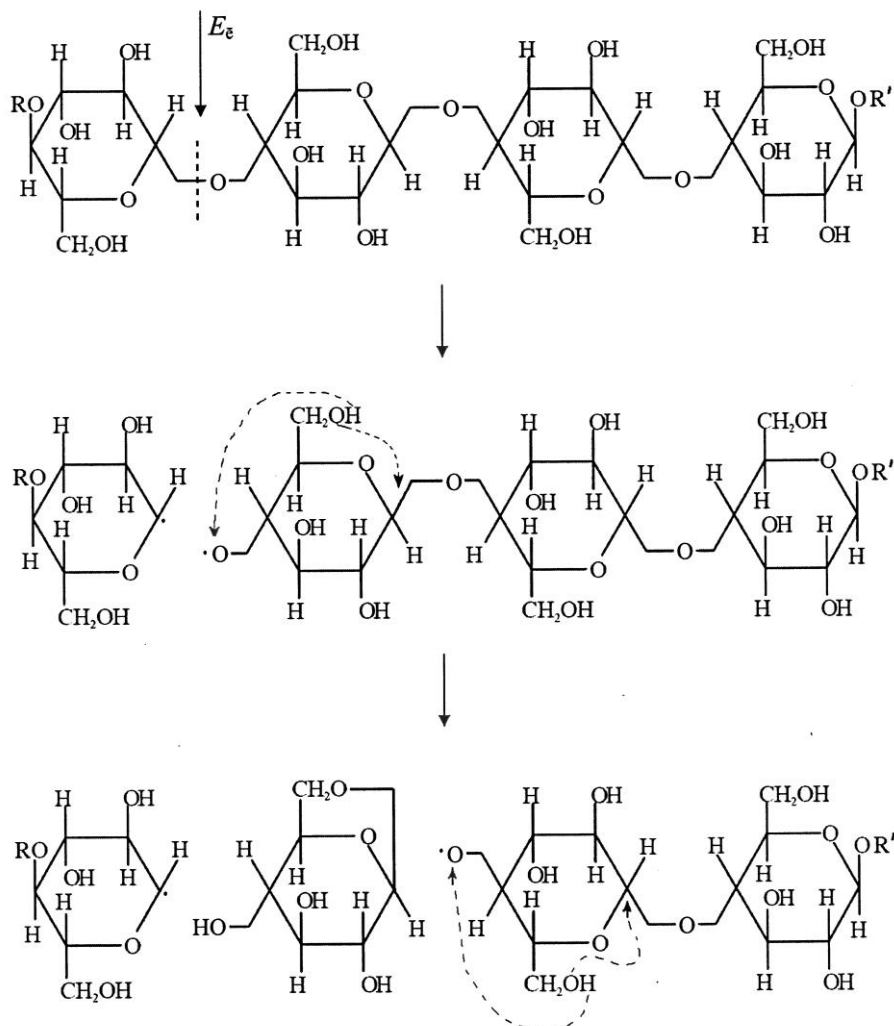


Рис. 4. Схема деполимеризации макромолекул кристаллической целлюлозы под действием электронного излучения

характер, так как все звенья макромолекулы в результате нагрева имеют примерно одинаковую энергию, необходимую для дегидратации с образованием левоглюкозана. При ЭПП обработке образец имеет низкую температуру, а энергию, необходимую для дегидратации, получают отдельные элементарные звенья. Поэтому дальнейшей деполимеризации не происходит.

Главным процессом, протекающим как в условиях пиролиза, так и в условиях ЭПП обработки, является деструкция посредством дегидратации. Поэтому продукты этих реакций должны быть аналогичны. Однако элементный анализ целлюлозы и целлобиозы, обработанных ЭПП при значительно больших энергозатратах, выявил повышение содержания углерода на 3,0 и 10,8 %,

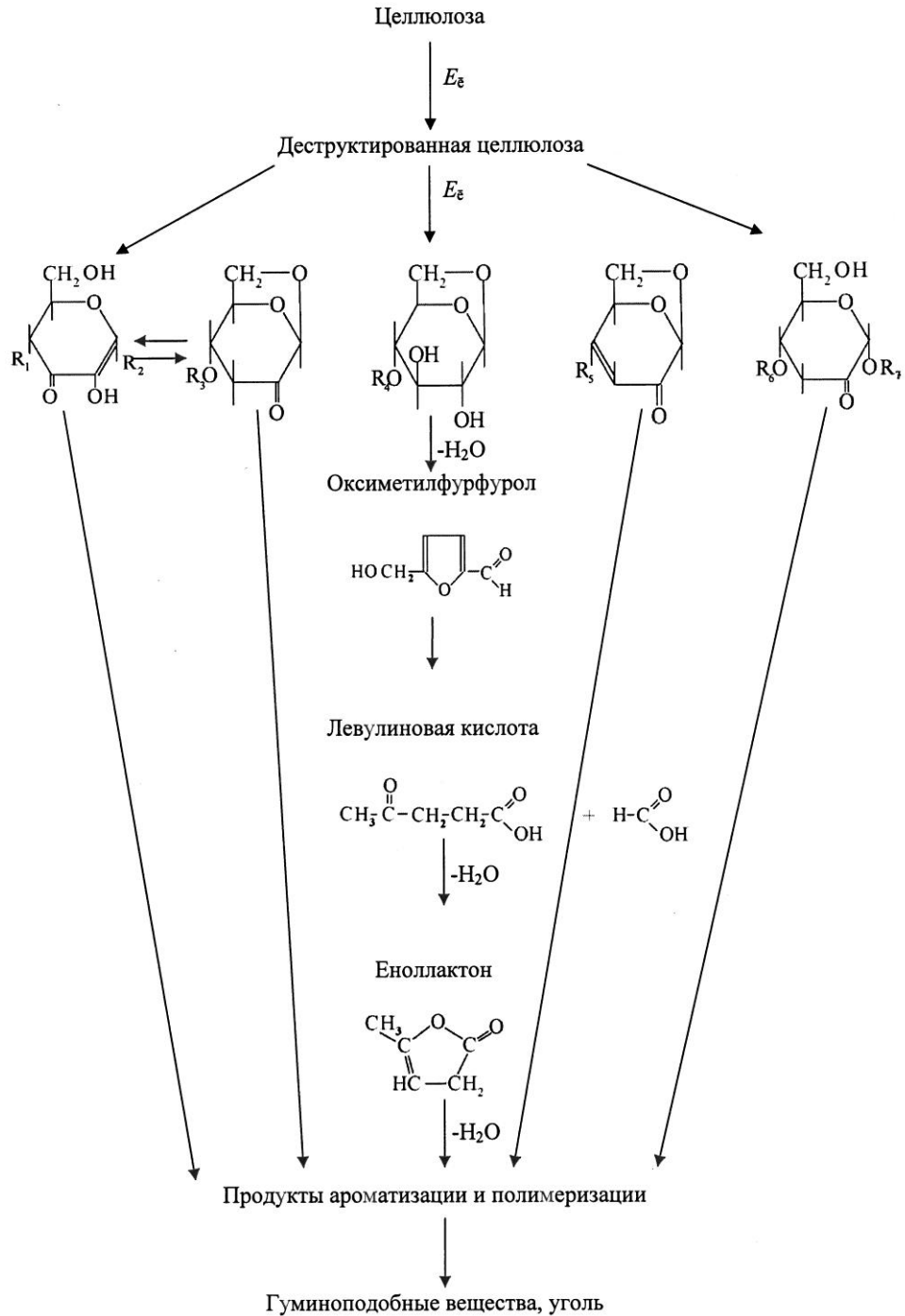


Рис. 5. Схема дегидратации целлюлозы и продуктов ее распада (R_1 - R_7 – остатки фрагментов целлюлозы или H)

водорода на 0,3 и 0,8 % за счет снижения содержания кислорода на 3,4 и 11,5 % соответственно. Данные изменения не могут быть следствием только дегидратации. Расчет показывает, что рост содержания водорода может быть объяснен за счет удаления из образца таких молекул, как CO, CO₂ или HCOOH. Наиболее вероятный механизм этого процесса может быть представлен схемой, приведенной на рис. 5. При этом дегидратация сопровождается выделением муравьиной кислоты. Подобное разложение целлюлозы хорошо изучено и имеет место как при нагреве в кислой среде, так и в процессе пиролиза. Образующиеся далее продукты нелетучи даже в условиях вакуума, имеют хромофорные группы, поглощающие в УФ и видимом излучении (регистрируется потемнение пробы в процессе обработки ЭПП). Водные экстракты образцов имеют кислый характер. Хроматографически с УФ-детектором в них обнаружены вещества, время выхода которых совпадает с временем выхода леволиновой кислоты, еноллактона и фенола. В пользу этого говорит и тот факт, что даже с плазмообразующим газом аргоном наблюдается деструкция целлюлозы и рост содержания карбоксильных групп.

Эксклюзионная хроматография проведена с помощью колонки BioSep-SEC-S3000. Характеристики колонки: эффективность – 30 000 теоретических тарелок; размер пор – 29 нм; поверхность пор модифицирована C18; элюент – 0,1 М фосфатный буфер; pH 6,86; добавка – 0,05 % NaN₃; скорость элюирования – 1 мл/мин; температура – 30 °С; УФ-детектор при 280 нм; зависимость между продолжительностью элюирования и молекулярной массой определяется уравнением $\ln(M) = -0,1935t^2 + 1,9141t + 9,0025$ при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,9944$ (например инсулин: $M = 5350$ Да и $t = 10,28$ мин). После $t = 11,00$ мин колонка работает не по эксклюзионному механизму, а как обычная обращенно-фазовая). Хроматограмма показывает наличие в экстракте фрагментов деструктированной целлюлозы с массами 15 кДа и более, интенсивно поглощающих УФ-излучение.

Из хроматограмм (рис. 6) видно, что водные экстракты обработанных ЭПП образцов целлюлозы с разной степенью кристалличности практически совпадают по составу, однако меняется соотношение концентраций низкомолекулярных продуктов, классифицируемых как еноллактон и леволиновая кислота. Основной пик содержит водорастворимые олигосахариды, имеющие хромофорные группы.

Рис. 6. Хроматограммы водных экстрактов (1, 2) обработанной ЭПП целлюлозы и леволиновой кислоты (3) (колонка BioSep-SEC-S3000): 1 – целлофан; 2 – микрокристаллическая целлюлоза; 4 – еноллактон; 5 – фенол

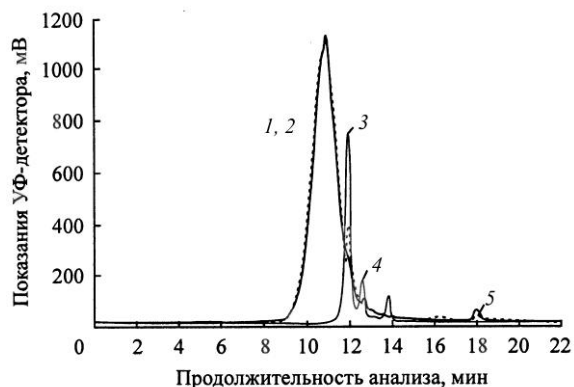
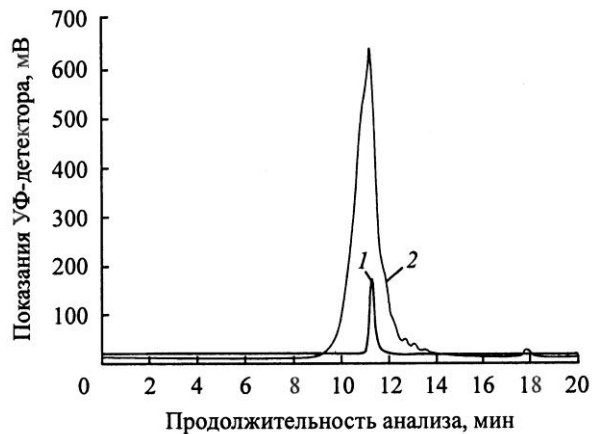


Рис. 7. Хроматограмма целлобиозы, обработанной ЭПП (колонка BioSep-SEC-S3000): 1 – данные рефрактометра (детектируется целлобиоза); 2 – данные УФ-детектора при 280 нм (детектируются только продукты ЭПП-обработки)



При подобном анализе обработанной ЭПП целлобиозы выявлено присутствие в водном экстракте высокомолекулярных веществ (масса до 15 кДа), имеющих хромофорные группы (рис. 7). Таким образом, при обработке ЭПП происходит не только деструкция целлюлозы, но и полимеризация продуктов деструкции.

Обобщив представленные данные можно сделать предположение об основных механизмах деструкции целлюлозы в ЭПП (см. рис. 5).

Процессы в верхней части рис. 5 должны наблюдаться в кристаллических областях целлюлозы и при малых энергозатратах, а реакции более глубокой дегидратации – при больших энергозатратах и преимущественно на поверхности образца. В пользу этого говорит тот факт, что почти все карбонильные и карбоксильные группы удаляются из обработанных ЭПП образцов водой.

Не исключен также обратный процесс гидратации, поскольку в плазме содержится вода и H^+ . Установлено, что около 0,5 % обработанной ЭПП целлобиозы превращается в глюкозу.

Таким образом, при обработке ЭПП целлюлозы протекают процессы дегидратации, сопровождаемые уменьшением молекулярной массы целлюлозы, ароматизацией и обугливанием (соответственно увеличением молекулярной массы продуктов дегидратации).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллами Л. ИК-спектры сложных молекул / Пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 590 с.
2. Бычков В.Л., Васильев М.Н. Исследование воздействия электронно-пучковой плазмы на целлюлозные материалы // Химия высоких энергий. – 1997. – Т.31, № 2. – С.137–140.
3. Васильев М.Н. Энциклопедия низкотемпературной плазмы / Под ред. В.Е. Фортова. – М.: Наука, 2001. – Т.11. – С. 436.

4. Васильева Т.М., Чухчин Д.Г. Исследование влияния пучково-плазменной модификации фибрин-мономера на его биологические свойства // Химия высоких энергий. – 2008. – Т.42, № 5. – С.451–455.

5. Жбанков Р.Г. Инфракрасные спектры и структура углеводов. – Минск: Наука и техника, 1972. – 456 с.

6. Закономерности взаимодействия электронно-пучковой неравновесной плазмы с целлюлозой / И.В. Александров [и др.] // Журнал прикладной химии. – 1996. – Т. 69, Вып. 12. – С. 2042–2048.

7. Калинин Б.А. Радиационно-пучковые технологии обработки материалов // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 4. – С.11–16.

8. Кислицын А.Н. Пиролиз древесины: химизм кинетика, продукты, новые процессы – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 312 с.

9. Модифицирование целлюлозосодержащих материалов в электронно-пучковой плазме / М.Н. Васильев [и др.] // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 83 – 88. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Оболенская А.В. Практические работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 412 с.

11. Роговин З.А. Химия целлюлозы – М.: Химия, 1972. – 520 с.

12. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) / Пер. с англ. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 512 с.

13. Шарнина Л.В. Научные основы и технологии отделки текстильных материалов с использованием низкотемпературной плазмы, новых препаратов и способов колорирования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Иваново, 2006. – 32 с.

Поступила 30.12.09

D.G. Chukhchin, N.A. Matonina, O.M. Sokolov

Northern (Arctic) Federal University

Destruction of Pulp under Influence of Electron-beam Plasma

The main mechanism of pulp materials destruction under the influence of electron-beam plasma is proposed.

Keywords: electron-beam plasma, ultraviolet spectroscopy, infrared spectroscopy, dehydration, pyrolysis, destructed pulp.

УДК 676.166.6

Г.А. Пазухина, Ю.В. Шабанов

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Пазухина Галина Александровна окончила Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, почетный академик РАЕН, профессор кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 250 научных трудов в области химической и биохимической технологии целлюлозы.
Тел.: (812) 552-90-79



Шабанов Юрий Валерьевич родился в 1976 г., окончил в 2001 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры целлюлозно-бумажного производства СПбГЛТА. Имеет 6 научных работ в области окислительных методов делигнификации растительного сырья.
Тел. (812) 536-37-81



К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ В СИСТЕМЕ ПЕРОКСИД ВОДОРОДА – УКСУСНАЯ КИСЛОТА – ВОДА

Рассмотрен механизм делигнификации древесины ели в условиях низкотемпературной варки в системе пероксид водорода–уксусная кислота–вода.

Ключевые слова: древесина ели, делигнификация, пероксид водорода, уксусная кислота, низкая температура, механизм.

Несмотря на постоянное совершенствование, применяемые в промышленной практике сульфитный и сульфатный способы производства целлюлозы из растительного сырья фактически исчерпали свои возможности. Невысокий выход технической целлюлозы при сравнительно низкой белизне, потребность в разнообразных минеральных ресурсах, большие затраты на очистку сточных вод и газовых выбросов, высокая энергоемкость процессов, а также рост цен на природные ресурсы ставят перед наукой задачу поиска новых технологических решений по производству целлюлозы из растительного сырья.

Альтернативой применяемым способам может быть окислительная делигнификация растительного сырья в среде органических растворителей. В качестве перспективных окислителей различными исследователями рассматриваются кислород [2], пероксид водорода [3, 5, 6, 9, 10], пероксикислоты [4, 8], а в качестве органических растворителей – спирты и органические кислоты. Однако наибольший интерес представляет применение пероксида водорода и уксусной кислоты, которая является многотоннажным и относительно дешевым продуктом лесохимии и синтеза. К основным недостаткам предлагаемых способов делигнификации древесины пероксидом во-

дорода в среде уксусной кислоты следует отнести многоступенчатость процесса, применение минеральных веществ (катализаторы, промежуточная экстракция раствором гидроксида натрия и др.), достаточно высокую температуру варки, требующую оборудования, работающего под избыточным давлением, высокий расход тепловой и электрической энергии.

Разрабатываемый на кафедре целлюлозно-бумажного производства СПбГЛТА способ варки в системе пероксид водорода (H_2O_2) – уксусная кислота (CH_3COOH) – вода (H_2O) в значительной мере лишен перечисленных недостатков [1, 7]. Способ включает низкотемпературную пропитку древесной щепы смесью концентрированных растворов пероксида водорода (концентрация 20 % и выше) и уксусной кислоты (концентрация 30 % и более);

Рис. 1. Изменение концентрации H_2O_2 (1) и температуры (2) в процессе делигнификации древесины ели в системе $H_2O_2 - CH_3COOH - H_2O$



отбор части этого раствора по завершении пропитки и введение дополнительного количества уксусной кислоты; варку с пониженным жидкостным модулем и быстрым подъемом температуры до конечной, не превышающей 100 °С.

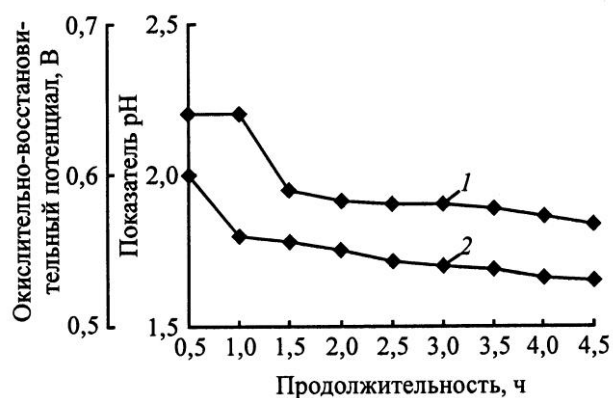
В данном исследовании был изучен механизм делигнификации древесины ели обыкновенной (*Picea excelsa*) в условиях разработанного режима варки (рис. 1). Компонентный состав древесины, % от массы абс. сухой древесины: целлюлоза Кюршнера–Хоффера – 49,0; лигнин – 26,9; пентозаны – 9,4; вещества, растворимые в этиловом спирте – 2,1, в горячей воде – 1,9; зола – 0,8. Размеры щепы для варки, мм: длина 20...25; ширина 20...25; толщина 3...4. В качестве варочного аппарата использовали колбу Эйлермейлера объемом 250 мл с обратным холодильником. Жидкостный модуль: при пропитке – 6 : 1, при варке – 4 : 1.

Для достижения поставленной цели была выполнена серия из 9 варок, которые последовательно заканчивали через каждые 30 мин (см. таблицу). В результате варок 7–9 были получены образцы целлюлозы с выходом 68,5...53,6 % от массы абс. сухой древесины. Неразделяющийся на волокна древесный остаток после варок 1 – 6 тщательно промывали дистиллированной водой, сушили на воздухе, определяли выход полуфабриката. Остаток полуфабриката подвергали размолу в механической мельнице. Для анализов использовали опилки размером 0,25...0,50 мм.

Характеристики полуфабрикатов с разных стадий варки

Но- мер варки	Общая продолжи- тельность варки, ч	Общий выход	Содержание		
			лигнина	пентоза- нов	экстрактивных веществ (этиловый спирт)
			% от массы абс. сухой древесины		
1	0,5	98,5	26,6	8,9	2,1
2	1,0	95,6	25,9	8,9	2,0
3	1,5	93,2	24,4	8,6	1,7
4	2,0	80,3	17,5	8,4	1,5
5	2,5	76,3	13,2	7,6	1,3
6	3,0	71,7	12,0	5,6	1,2
7	3,5	68,5	8,4	5,1	0,9
8	4,0	58,0	1,1	4,1	0,3
9	4,5	53,6	0,4	3,9	0,1

Рис. 2. Изменение окислительно-восстановительного потенциала (1) и рН (2) в процессе делигнификации древесины ели в системе $H_2O_2 - CH_3COOH - H_2O$



Из данных рис. 1, 2 видно, что низкотемпературная пропитка древесины смесью пероксида водорода, уксусной кислоты и воды незначительно снижает концентрацию пероксида водорода, рН и окислительно-восстановительный потенциал системы. В этот период в раствор переходит 4,4 % древесного вещества, в том числе 2,1 % лигнина (рис. 3, 4).

По завершении пропитки и замены части пропиточного раствора на уксусную кислоту существенно (примерно в 2 раза) уменьшается концентрация пероксида водорода в окружающем щепу варочном растворе, вследствие чего понижаются значения рН и окислительно-восстановительного потенциала системы (см. рис. 1, 2).

Во время варки пероксид водорода постепенно расходуется, его концентрация падает до 1,5 %. При этом окислительно-восстановительный потенциал варочной системы изменяется мало (от 0,59 до 0,57 В) и медленно снижается рН варочной системы, как можно предположить, в результате

образования в процессе делигнификации древесины более сильных кислот, чем уксусная.*

Во время подъема температуры до конечной (98 °С) процесс делигнификации ускоряется, и в этот период в раствор переходит еще 2,1 % лигнина.

На рис. 4 хорошо видны два ярко выраженных максимума растворения лигнина.

Первый из них отмечается после 0,5 ч выдержки на конечной температуре. Быстрому переходу примерно 1/3 лигнина древесины в этот период способствуют высокая концентрация пероксида водорода внутри щепы, повышенная температура и короткие маршруты вывода продуктов деструкции лигнина из клеточной стенки. В последующие два отрезка времени (по 0,5 ч) процесс делигнификации замедляется, так как в этот период вступает в реакции лигнин из удаленных участков S₂-слоя клеточной стенки, а продукты деструкции лигнина выводятся в варочный раствор по длинным маршрутам. Замедление делигнификации отмечается до тех пор, пока варочный раствор, двигаясь по капиллярам, субкапиллярам и порам клеточной стенки трахеид, не достигнет S₁-слоя, первичной оболочки и срединной пластинки, в которых сосредоточена почти 1/4 лигнина древесины.

Как видно из рис. 4, после 2,5 ч варки происходит быстрый распад древесины на отдельные волокна, что свидетельствует о разрушении и переходе в раствор лигнина срединной пластинки. В результате обеспечивается все ускоряющаяся доставка варочных реагентов в зону реакции и вывод продуктов реакции в варочный раствор. После 3,0 ч варки выход отсортированной целлюлозы составил 66 % (степень полимеризации 1800), при этом из древесины удаляется более 72 % лигнина.

Полностью распад древесины на волокна завершается через 4,0 ч, в период 3,5...4,0 ч обнаружен второй максимум растворения лигнина (см. рис. 3). К концу этого периода выход целлюлозы составил 58 % (степень полимеризации 1500) при содержании лигнина около 1 % и белизне 85 %.

В последние 0,5 ч варки практически полностью удаляются остатки лигнина из наиболее трудно доступных участков клеточной оболочки воло-

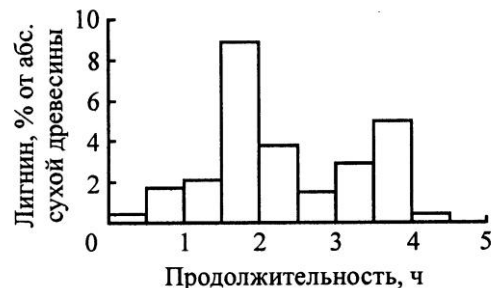


Рис. 3. Гистограмма распределения переходящего в раствор лигнина в зависимости от продолжительности варки

* Следует отметить, что образование перуксусной кислоты в условиях разрабатываемой технологии практически исключено (обнаружены только ее следы), так как существующие способы получения данной кислоты из пероксида водорода и уксусной кислоты требуют применения сильных кислотных катализаторов, которые в данной технологии не используются.

кон. Легкая доступность углеводов для взаимодействия с варочными реагентами в этот период несколько нарушает избирательность процесса делигнификации. Однако выход целлюлозы сохраняется на достаточно высоком уровне – 53,6 % (см. таблицу) при степени полимеризации 920, высокой и устойчивой белизне – 91,2 % (коэффициент реверсии белизны 1,0), что позволяет исключить дальнейшую отбелку целлюлозы.

Таким образом, делигнификация древесины ели в условиях низкотемпературного режима варки в системе перексид водорода – уксусная кислота – вода происходит крайне неравномерно. На гистограмме распределения перешедшего в раствор лигнина в зависимости от продолжительности варки отчетливо видны два максимума: более высокий – в первые 0,5 ч варки на конечной температуре, несколько меньший – после распада древесины на отдельные волокна. Это свидетельствует о постепенном перемещении зоны активной делигнификации от люмена в глубину клеточной стенки древесины с резким увеличением доступности лигнина для взаимодействия с варочными реагентами и ускорением отвода растворимого лигнина из зоны реакции по мере разрушения S₁-слоя, первичной оболочки и срединной пластинки.

На основе предложенного механизма установлено, что разработанным способом варки может быть получена целлюлоза с выходом от 66 % (степень полимеризации 1800, белизна 80 %) до 54 % от массы абс. сухой древесины (степень полимеризации 920, белизна 91 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров В.С., Пазухина Г.А. Делигнификация древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в системе перексид водорода–уксусная кислота // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: Междунар. научн.-практ. конф. молодых ученых, 13–14 нояб. 2007 г. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – С. 149–150.

2. Зарубин, М.Я., Костюкевич Н.Г. Влияние состава варочного раствора на превращение основных компонентов древесины кислородом в уксусной кислоте // Химия и технология растительных веществ: IV Всеросс. конф., 25–30 сент. 2000 г. – Сыктывкар: Коми НЦ РАН, 2000. – С. 15.

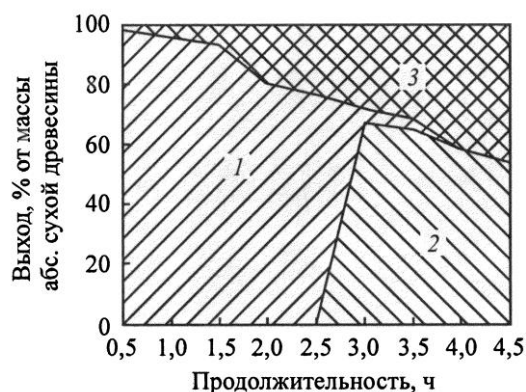


Рис. 4. Изменение содержания непровара (1), отсортированной целлюлозы (2) и перешедших в раствор компонентов древесины (3) в зависимости от продолжительности варки

3. Зильберглейт М.А., Симхович Б.С., Резников В.М. Исследование процесса делигнификации древесины водными растворами уксусной кислоты // Химия древесины. – 1986. – № 3. – С. 34–42.

4. Зильберглейт М.А., Корнейчик Т.В., Резников В.М. Исследование процесса делигнификации древесины водными растворами уксусной кислоты. 10. Химический состав уксуснокислых лигнинов // Химия древесины. – 1988. – С. 56–61, 121, 122.

5. Леонова М.О., Пен Р.З., Бывшев А.В. Катализ пероксидной делигнификации древесины оксидом титана // Новые достижения в химии и химической технологии: Материалы III Всерос. конф., 23–27 апр. 2007 г. – Барнаул: Алт. ун-т, 2007. – Кн. 1. – С. 46.

6. Окислительная делигнификация древесины пихты в среде уксусная кислота–пероксид водорода–сернокислый катализатор / В.Г. Данилов [и др.] // Новые достижения в химии и химической технологии: Материалы III Всерос. конф., 23–27 апр. 2007 г. – Барнаул: Алт. ун-т, 2007. – Кн. 1. – С. 24.

7. Пазухина Г.А., Шабанов Ю.В. Изучение компонентного состава древесины ели в процессе ее делигнификации в системе пероксид водорода – уксусная кислота // Новые достижения в химии и химической технологии: Материалы III Всерос. конф., 23–27 апр. 2007 г. – Барнаул: Алт. ун-т, 2007. – Кн. 1. – С. 50–52.

8. Pazukhina G.A., Shabanova I.P. Delignification of spruce wood by peracetic acid – isobutyl alcohol – water system // Advanced in lignocellulosics chemistry towards high quality processes and product: 6-th European Workshop on lignocellulosics and Pulp, 3–6 September, 2000. – Bordeaux, France: University Science Technology, 2000. – P. 511–518.

9. Popius-Levin K.R., Mustonen J.H., Sundquist J. Milox pulping with acetic acid / peroxyacetic acid // Paper ja Puu. – 1991. – Vol. 73, N 2. – P. 154.

10. Problems and achievements of obtaining of acetic cellulose / V.M. Reznikov [et al.] // Tappi Press. – 1989. – P. 241–247.

Поступила 03.04.09

G.A. Pazukhina, Yu.V. Shabanov
Saint-Petersburg Forest Technical Academy

On Wood Delignification Mechanism in Hydrogen Peroxide – Acetic Acid – Water System

The softwood delignification mechanism in the low temperature cooking conditions is investigated in the hydrogen peroxide – acetic acid – water system.

Keywords: softwood, delignification, hydrogen peroxide, acetic acid, low temperature, mechanism.

УДК 676.017.42

Е.Ю. Ларина, В.И. Комаров

Северный (Арктический) федеральный университет

Ларина Екатерина Юрьевна родилась в 1982 г., окончила в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 8 печатных работ в области целлюлозно-бумажного производства.
Тел.: (8182) 65-00-92



Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.
Тел.: (8182) 21-61-82



ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПО ТОЛЩИНЕ И В ПЛОСКОСТИ ЛИСТА БУМАГИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ИЗГИБ, НА ВЕЛИЧИНУ ИЗМЕРЯЕМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Показана возможность использования специальных уравнений для расчета жесткости при изгибе с учетом пластических деформаций по толщине и в плоскости листа бумаги.

Ключевые слова: жесткость при изгибе, бумага для гофрирования, пластическая деформация.

В настоящее время существует несколько методов определения жесткости при изгибе. В процессе их реализации измеряют следующие характеристики: сгибающее усилие, угол изгиба, прогиб, сгибающе-надламывающий угол, резонансная частота, модуль упругости или жесткость при изгибе. При этом для расчета используют уравнения, полученные для упругих материалов. В настоящее время, по данным фирмы «Lorentzen and Wettre» [8], наибольшее применение нашел метод измерения жесткости, основанный на деформировании на заданный угол консольно-закрепленного образца под воздействием силы, приложенной к его концу. В отечественной практике, наряду с этим способом, используют метод, основанный на измерении деформации под воздействием заданной силы консольно-закрепленного образца [3].

При испытании целлюлозно-бумажного материала на изгиб возникают две проблемы: первая связана с выбором метода испытания, который наилучшим образом позволил бы оценить потребительские свойства материала, вторая обусловлена тем, что расчет характеристики ведется с использованием уравнений, полученных для упругого материала. С появлением

при испытании в структуре материала, наряду с упругими, также вязко-упругих и пластических деформаций [5, 6] реальная величина жесткости при изгибе ниже, чем получаемая при расчете по предлагаемым уравнениям. Кроме того, целлюлозно-бумажные материалы отличаются анизотропией. Следовательно, предлагаемые для расчета уравнения можно использовать лишь с известным приближением.

Задачей данного исследования являлась оценка влияния пластических деформаций в образце бумаги для гофрирования (флютинга) на жесткость при изгибе.

Испытания проводили на приборе «Messmer Buchel Stiffness Tester 116-BD». На кафедре целлюлозно-бумажного производства С(А)ФУ разработана программа, позволяющая получать кривую зависимости изменения усилия F , прикладываемого к образцу, от продолжительности испытания t .

При обработке экспериментальной кривой, представленной на рис. 1, в точках максимальной нагрузки 1 и снятия нагрузки 2 рассчитывали усилие F , приведенную жесткость при изгибе S_b и модуль упругости при изгибе $E_{изг}$.

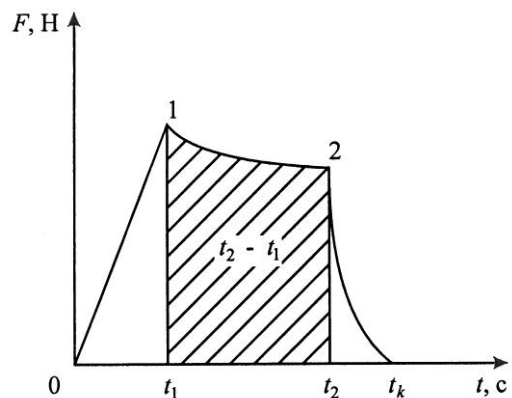


Рис. 1. Кривая зависимости усилия от продолжительности испытания: 1 – точка упругой деформации; 2 – точка определения жесткости при изгибе с учетом пластической деформации, возникающей в течение времени $t_2 - t_1$

Приведенная жесткость при изгибе (S_b , Н·м):

$$S_b = \frac{Fl^2}{3 \sin \alpha \cdot b},$$

где F – регистрируемая датчиком нагрузка (усилие), мН;

l – испытываемая длина образца, м;

α – угол изгиба, град;

b – ширина образца, м.

Модуль упругости при изгибе ($E_{изг}$, МПа):

$$E_{изг} = \frac{12S_b}{\delta^3},$$

где δ – толщина образца, м.

В работе [2] показано, что упруго-пластические материалы (к ним относятся древесина, слоистые пластики, целлюлоза и др.) при изгибе в растянутой зоне поперечного сечения работают упруго вплоть до разрыва крайних волокон, а в сжатой зоне – упруго-пластически.

В зоне сжатия механическое поведение целлюлозно-бумажных материалов гораздо сложнее. Ранее экспериментально установлено, что на-

чальный модуль упругости материала E_1 при испытании на растяжение выше модуля упругости при изгибе $E_{изг}$. Это объясняется тем, что E_1 практически всегда больше модуля упругости при сжатии $E_{сж}$.

Испытанию на приборе «Messmer Buchel MD – 116» были подвергнуты образцы бумаги для гофрирования с массой 1 м^2 112 г, длина образца в двух направлениях составляла 25 мм, ширина – 15 мм, угол изгиба – 30° .

В табл. 1 приведены данные испытаний образцов бумаги для гофрирования стандартным методом, откуда следует, что пластические деформации, возникающие в образце при продолжительности $t_2 - t_1$, измеряемую жесткость при изгибе в машинном направлении (MD) снижают на 13,0 %, в перпендикулярном машинному направлении (CD) – на 12,4 %, у лабораторной отливки – на 15,5 %.

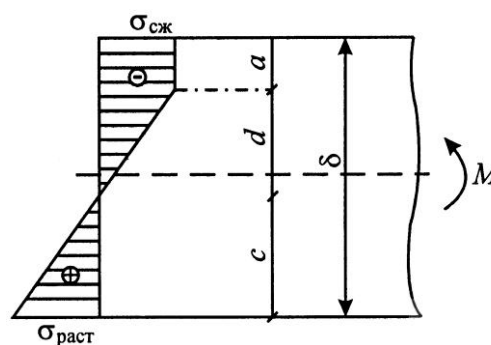
В работах [1, 2] показана возможность расчета слоя структуры материала, в котором возникает предельное состояние. Эпюры нормальных напряжений представлены на рис. 2.

Таблица 1

Жесткость при изгибе бумаги для гофрирования с учетом пластических деформаций стандартным методом EI^2 (числитель) в точке 2 и при упругом деформировании EI^y (знаменатель) в точке 1

Исследуемый фактор	$\delta \cdot 10^6$, м	$t_2 - t_1$, с	S_b , Н·м	EI , мН·см ²	$E_{изг}$, МПа	$\frac{EI^y - EI^2}{EI^y} 100\%$
MD	196,2	1,7	1,46	221,9	2570	13,0
			1,70	255,0	2955	
CD	204,0	1,4	0,56	84,0	675	12,4
			0,64	95,9	770	
Отливка	178,8	2,1	1,03	158,5	2230	15,5
			1,25	187,5	2720	

Рис. 2. Упрощенная эпюра нормальных напряжений при испытании на изгиб



Ниже приведен расчет толщины слоев (a – в котором возникает предельное состояние; d – работающего на сжатие; c – работающего на растяжение):

$$a = \delta \frac{n_0 - 1}{n_0 + 1}; d = \delta \frac{2}{n_0 + 1}; c = \delta \frac{2n_0}{n_0 + 1}; n_0 = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{раст}}$$

Расчет жесткости при изгибе с учетом и без учета слоя a производили по следующим уравнениям:

$$EI^y = E_{изг} \frac{b\delta^3}{12}; EI^c = E_{изг} \frac{b(\delta - a)^3}{12}.$$

где I – момент инерции поперечного сечения образца, $I = b\delta^3/12$.

В табл. 2 представлены результаты расчета жесткости при изгибе бумаги для гофрирования по толщине слоя образца.

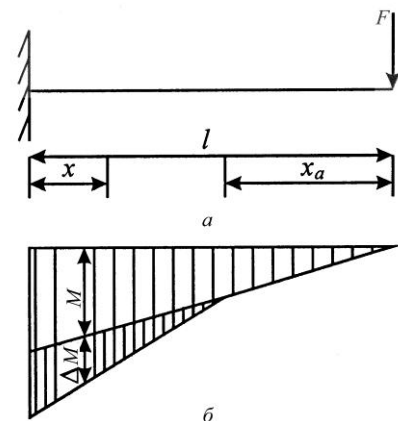
Из данных табл. 2 видно, что жесткость при изгибе, рассчитанная с учетом пластических деформаций в слое a , меньше жесткости, рассчитанной по принятому для упругого материала уравнению. Пластические деформации измеряемую жесткость при изгибе по толщине образца в MD направлении снижают на 28,6 %, в CD направлении – на 67,5 %, у лабораторной отливки – на 31,5 %.

Таблица 2

Влияние пластических деформаций, возникающих в структуре бумаги для гофрирования по толщине образца, на жесткость при изгибе с учетом a -слоя EI^c (числитель) и в точке 1 EI^y (знаменатель)

Исследуемый фактор	$\delta \times 10^6$	$a \times 10^6$	$(d+c) \times 10^6$	S_b , Н·м	EI , мН·см ²	$E_{изг}$, МПа	$\frac{EI^y - EI^c}{EI^y} 100\%$
	м						
MD	198,2	26,1	172,1	1,20	1821	2845	28,6
				1,68	255,0	3985	
CD	202,4	56,2	146,2	0,21	31,2	820	67,5
				0,65	96,0	2525	
Отливка	179,1	23,1	156,0	1,86	128,6	2630	31,5
				1,26	187,7	3840	

Рис. 3. Схема испытания на изгиб (a) и эпюра для расчета деформации с учетом графоаналитического метода (b) (l – длина образца; x_a – расстояние, на котором проявляются упругие деформации; x – расстояние, на котором развиваются пластические деформации; M – изгибающий момент; ΔM – приращение изгибающего момента вследствие образования пластических деформации)



Известно, что пластические деформации при изгибе возникают не только по толщине образца, но и в плоскости листа [4].

На практике жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов можно оценить графоаналитическим методом при испытании консольно закрепленного образца (рис. 3).

Расчет деформации осуществляют по уравнению

$$f = \frac{4 \left(\sigma_{s \text{ сж}} M_c \right)^3}{F^2 EI} \left(\frac{13}{12} - \frac{Fl}{\sigma_{s \text{ сж}} M_c} + 3 \ln \frac{2}{3 - \frac{Fl}{\sigma_{s \text{ сж}}}} \right),$$

где f – прогиб;

$\sigma_{s \text{ сж}}$ – напряжение крайне сжатого волокна;

M_c – момент сопротивления поперечного сечения образца, $M_c = b\delta^2/6$.

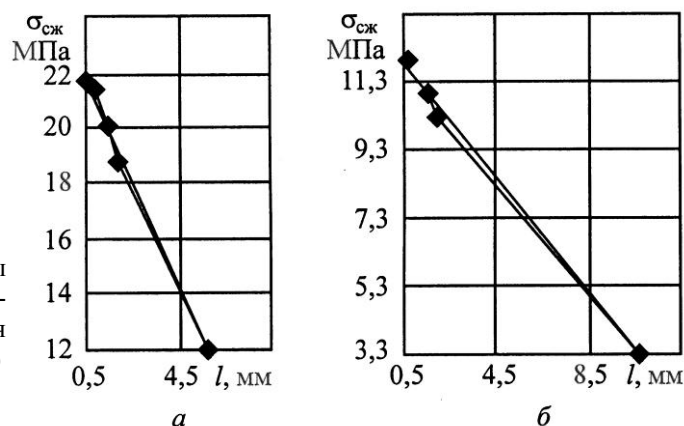
Жесткость при изгибе рассчитывают по следующему уравнению:

$$EI = \frac{Fl^3}{3f}.$$

В этом случае при определении жесткости при изгибе учитывают напряжение сжатия вдоль плоскости листа, применяя метод SCT (short (span) compression test) [7]. Данный метод разработан Шведским целлюлозно-бумажным научно-исследовательским институтом с использованием оборудования фирмы «Lorentzen & Wettre» [8].

Считается, что сопротивление сжатию вдоль плоскости листа бумаги труднее измерить, чем сопротивление растяжению. В настоящее время большинство европейских производителей и потребителей картона-лайнера и бумаги для гофрирования отдают предпочтение определяемому по методу SCT показателю – сопротивлению торцовому сжатию короткого участка образца.

Рис. 4. Диаграммы экстраполяции бумаги для гофрирования в MD (а) и CD (б) направлениях



Метод SCT, по мнению разработчиков и пользователей, имеет преимущества перед применяемыми методами RCT и CCT, поскольку обеспечивает «чистое» сжатие вдоль плоскости образца. Вследствие того, что база испытаний образца, составляющая всего $(0,70 \pm 0,05)$ мм, сопоставима с толщиной материала, предотвращается его бифуркация и деформация происходит, именно, в результате сжатия, а не из-за потери устойчивости или влияния краевых эффектов.

В целях получения характеристики сопротивления сжатию $\sigma_{сж}$ использовали отечественный прибор для испытания на сжатие бумаги и картона по методу SCT. Его возможности шире по сравнению с зарубежными аналогами, поскольку имеется возможность получить кривую зависимости напряжение–деформация, а после ее математической обработки, рассчитать спектр характеристик деформативности при сжатии.

Были испытаны образцы бумаги для гофрирования, имеющие следующую базу, мм: 0,7; 1,0; 1,5; 2,0. Методом экстраполяции найдено расстояние x , на котором возникают пластические деформации (рис. 4).

В табл. 3 представлены данные расчета жесткости при изгибе бумаги для гофрирования в плоскости листа.

Таблица 3

**Жесткость при изгибе в плоскости листа EI^n (числитель)
и в точке 1 EI^y (знаменатель)**

Исследуемый фактор	$\delta \cdot 10^6$	$x \cdot 10^6$	S_b , Н·м	EI , мН·см ²	$E_{изг}$, МПа	$\frac{EI^y - EI^n}{EI^y} 100\%$
	м					
MD	195,6	5,9	$\frac{1,33}{1,70}$	$\frac{199,2}{255,0}$	$\frac{2110}{2700}$	21,9
			$\frac{0,49}{0,87}$	$\frac{54,3}{95,9}$	$\frac{510}{901}$	
CD	203,8	10,7	$\frac{1,11}{1,25}$	$\frac{166,6}{187,6}$	$\frac{2330}{2625}$	43,4
			$\frac{0,49}{0,87}$	$\frac{54,3}{95,9}$	$\frac{510}{901}$	
Отливка	182,3	6,9	$\frac{1,11}{1,25}$	$\frac{166,6}{187,6}$	$\frac{2330}{2625}$	11,2

Из табл. 3 следует, что возникновение пластических деформаций в плоскости листа снижает жесткость при изгибе в MD направлении на 21,9 %, в CD направлении – на 43,4 %, у лабораторной отливки – на 11,2 %.

Полученные экспериментальные данные показывают, что появление пластических деформаций при испытании на изгиб по толщине и в плоскости листа позволяет использовать для расчета жесткости при изгибе специальные уравнения, а не те, которые получены для упругого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белянкин Ф.П.* Пластические деформации дерева при изгибе // Тр. Первой всесоюз. конф. по прочности авиаконструкций. – 1936.
2. *Комаров В.И.* Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе // Лесн. журн. – 1994. – № 1. – С. 112–142. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Комаров В.И., Фляте Д.М.* Определение жесткости бумаги при изгибе // Целлюлоза, бумага, картон. – 1971. – № 30. – С. 11–13.
4. *Яценко В.Ф.* Прочность и ползучесть слоистых материалов (сжатие, растяжение, изгиб). – К.: Наук. думка, 1966. – 201 с.
5. *Brecht W., Blicstad F.* // Papierfabrikant. – 1940. – Vol. 38. – S. 17.
6. *Brecht W., Muller F.* Uber die Steifigkeitsprufung von Papier, Karton und Pappen // Das Papier. – 1960. – N 7, 9.
7. ISO 9895:1989. Бумага и картон. Сопротивление сжатию. Испытание в малом диапазоне.
8. Paper Testing and Process Optimization: Catalog 1994. – Lorentzen and Wetter. – 201 s.

Поступила 18.01.10

E.Yu. Larina, V.I. Komarov
Northern (Arctic) Federal University

Influence of Plastic Deformations in Thickness and Paper Sheet Plane Occurring in Bending on Measured Parameter Value

The possibility of using special equations for bending stiffness calculation is shown taking into account plastic deformations in thickness and paper sheet plane.

Keyword: bending stiffness, paper for corrugation, plastic deformation.

УДК 676.017.42

У. Цибульский¹, В.И. Комаров², Л.А. Миловидова², Т.А. Королева²¹«Vim Kemi» (Финляндия)²Северный (Арктический) федеральный университет

Миловидова Любовь Анатольевна родилась в 1946 г., окончила в 1970 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии ЦБП Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 100 печатных трудов в области производства белых волокнистых полуфабрикатов.
Тел.: (8182) 65-00-92



Королева Татьяна Алексеевна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Северного (Арктического) федерального университета. Имеет около 20 печатных работ в области исследования процессов отбелки целлюлозы.
Тел.: (8182) 65-00-92



ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КИСЛОРОДНО-ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ. 2. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КИСЛОРОДНО-ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Установлено, что кислородно-щелочная обработка лиственной целлюлозы приводит к повышению деформационных характеристик, т.е. снижает способность лиственной целлюлозы к деформации; для хвойной целлюлозы наблюдается обратная зависимость.

Ключевые слова: сульфатная хвойная и лиственная целлюлоза, кислородно-щелочная обработка, деформационные характеристики.

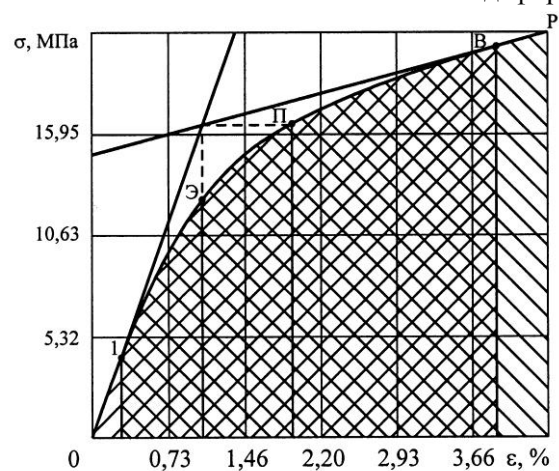
Механическая прочность целлюлозного волокна характеризуется теми значениями напряжений, которые приводят к нарушению его целостности и необратимому изменению структуры. Однако при приложении нагрузки структура листа претерпевает существенные изменения еще до момента ее разрушения. Именно эти явления протекают в процессе эксплуатации волокнистых материалов. Степень изменения структуры листа, а также степень обратимости изменений характеризуются деформационными свойствами волокна. Изменение прочностных характеристик хвойной и лиственной целлюлозы при различных условиях кислородно-щелочной обработки (КЩО) представлено в первой части нашей работы*.

* Влияние условий кислородно-щелочной обработки на деформационные и прочностные свойства сульфатной целлюлозы. 1. Влияние условий кислородно-щелочной обработки на прочностные свойства сульфатной целлюлозы / У. Цибульский [и др.] // Лесн. журн. – 2010. – № 3. – С. 130–136. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Цель данной работы – исследование изменения деформационных характеристик для получения более полной картины влияния КЩО на свойства лиственной и хвойной целлюлозы.

Оценить изменения деформационных характеристик волокна в процессе деформирования образца позволяет кривая напряжение – деформация (см. рисунок), полученная при обработке индикаторной диаграммы нагрузка – удлинение. Деформационные характеристики волокна зависят от межволоконных сил связи, его длины и плотности (толщины) образца. Увеличение межволоконных сил связи должно снижать способность волокон к деформированию при растяжении, при этом должна возрастать жесткость образца

Стадии развития деформации в капиллярно-пористом теле (образец целлюлозы): 0–1 – упругая зона; 1–П – замедленно-упругая зона; П–В – зона предразрушения; В–Р – зона разрушения; Э – точка, усредненно характеризующая замедленно-упругую зону; П – точка, характеризующая появление пластической



при растяжении, т.е. его сопротивление деформации. В свою очередь, плотность отливки зависит также от длины волокна и наличия мелкой фракции. В связи с этим, кроме деформационных характеристик целлюлозы (табл. 1), было определено изменение фракционного состава лиственной и хвойной целлюлозы до и после КЩО (табл. 2).

Как видно из представленных данных, для хвойной целлюлозы, имеющей стандартное для целлюлозы, предназначенной для отбелки, значение числа Каппа 34,6, КЩО приводит к снижению абсолютных значений всех деформационных характеристик, что соответствует некоторому увеличению способности целлюлозы к деформации в зоне упругих деформаций. Возможное объяснение этому – некоторое повышение толщины отливки, что связано с изменением фракционного состава волокна, а именно – снижением содержания мелочи в образце, т.е. доли промая (табл. 2). Повышение толщины отливки снизило напряжение и модуль упругости в зоне упругой деформации. Следует также отметить и снижение прочности хвойной целлюлозы, что проявляется в уменьшении как работы разрушения, так и деформации в зоне разрушения. Причина снижения прочности – деструкция целлюлозы на стадии КЩО и уменьшение вязкости.

Все деформационные характеристики лиственной целлюлозы, число Каппа которой также соответствует уровню значений числа Каппа лиственных видов целлюлозы для отбелки, ниже, чем для хвойной. Особенно заметно снизились напряжение и деформация в зоне упругих деформаций. По-видимому, здесь проявляется преобладающее влияние более низких значений межволоконных сил связи. Уменьшение напряжения в зоне упругих деформаций снижает модуль упругости и жесткость при растяжении. Из-за того, что волокно лиственной целлюлозы (образец П) короче, снизилась его прочность, при этом сохранилась деформация в зоне разрушения, что также можно объяснить невысокими межволоконными силами связи. КЩО этого образца снизила толщину отливки и повысила межволоконные силы связи. Как следствие, возросли напряжение и деформация в зоне упругих деформаций и жесткость при растяжении. Рост плотности и межволоконных сил связи привел

Таблица 1

Деформационные характеристики хвойной и лиственной сульфатной целлюлозы													
Номер образца	Характеристика образца	Условия КЩО		Характеристики целлюлозы									
		Температура, °С	Расход щелочи, кг/т	Число Каппа	L_0 , м	$F_{св}$, МПа	δ , мк	σ_1 , МПа	ε_1 , %	E_1 , МПа	S_l , кН/м	ε_p , %	A , кДж
Хвойная целлюлоза													
1	Небеленая	–	–	34,6	14 100	4,66	95,0	23,27	0,36	6 660	632,5	2,55	205,3
2	После КЩО	100	20	16,7	14 000	6,18	96,6	21,09	0,34	5 870	568,3	2,44	169,0
Лиственная целлюлоза (образец I)													
3	Небеленая	–	–	14,5	15 200	3,68	94,4	24,09	0,31	5 610	529,6	2,95	200,3
4	После КЩО	100	20	10,1	15 300	5,00	95,6	21,10	0,39	5 600	540,1	2,93	210,1
5	« «	115	20	8,6	14 400	5,34	84,4	22,10	0,34	6 680	564,4	3,10	231,3
6	« «	100	25	10,8	15 800	4,85	92,2	19,34	0,33	6 070	559,6	2,93	200,5
Лиственная целлюлоза (образец II)													
7	Небеленая	–	–	18,3	14 900	3,76	85,5	19,95	0,29	6 300	537,9	2,64	170,6
8	После КЩО	100	20	13,2	14 900	6,19	84,4	20,53	0,34	6 210	555,1	2,93	214,1
9	После КЩО с добавкой ДЗ	100	20	12,5	14 800	8,67	88,4	19,48	0,34	5 820	514,6	3,36	244,0

Примечание. L_0 – нулевая разрывная длина; $F_{св}$ – межволоконные силы связи; δ – толщина отливки; σ_1 – напряжение в зоне упругой деформации; ε_1 – деформация в зоне упругой деформации; E_1 – модуль упругости в зоне упругой деформации; S_l – жесткость при растяжении; ε_p – деформация разрушения; A – работа разрушения.

Таблица 2

**Влияние условий КЩО на фракционный состав хвойной
и лиственной целлюлозы**

Номер образца	Характеристика образца	Условия КЩО		Фракционный состав, %				
		Температура, °С	Расход щелочи, кг/т	16	30	50	100	Промой
Хвойная целлюлоза								
1	Небеленая	–	–	28,4	45,7	1,2	15,3	9,4
2	После КЩО	100	20	33,0	41,6	4,0	15,9	5,5
Лиственная целлюлоза I								
3	Небеленая	–	–	0,03	3,0	36,7	49,6	10,7
4	После КЩО	100	20	0,03	3,0	39,1	48,4	9,4
5	« «	115	20	0,04	3,0	40,6	47,8	8,6
6	« «	100	25	0,03	3,2	40,7	49,2	6,9
Лиственная целлюлоза II								
7	Небеленая	–	–	0,03	2,4	36,6	49,2	11,8
8	После КЩО	100	20	0,03	2,5	39,1	48,0	10,4
9	После КЩО с добавкой D3	100	20	0,02	2,8	39,8	47,0	10,4

к повышению работы разрушения и деформации в зоне разрушения. Несмотря на имеющиеся отличия во фракционном составе лиственной и хвойной целлюлозы, КЩО также снизила содержание мелочи в лиственной целлюлозе II (табл. 2). Добавка диспергатора на ступень КЩО, как уже отмечалось, вызывает интенсивное набухание волокна. В результате несколько возросли межволоконные силы связи из-за увеличения площади контакта между волокнами и толщина отливки. Это привело к снижению абсолютных значений всех деформационных характеристик целлюлозы и повышению работы и деформации разрушения.

Для более мягкой лиственной целлюлозы (образец I) отмечены практически те же закономерности, но из-за более низкого содержания мелочи отливки имеют меньшую плотность и, как следствие, еще более низкие абсолютные значения деформационных характеристик.

Повышение температуры на стадии КЩО существенно снизило толщину отливки как за счет некоторого уменьшения содержания мелкой фракции (табл. 2), так и за счет повышения межволоконных сил связи. В результате происходит повышение абсолютных значений всех деформационных характеристик, а также работы разрушения, что свидетельствует о снижении способности волокон к деформации.

Увеличение расхода щелочи на стадии КЩО сопровождается дополнительным растворением мелкой фракции (табл. 2), что снижает толщину отливки по сравнению с контролем, однако по сравнению с опытом, который проводили при повышенной температуре, толщина отливки увеличивается. Одновременно несколько снижаются межволоконные силы связи. Соответственно,

уровень деформационных характеристик имеет промежуточные значения между контролем и результатами КЩО при повышенной температуре. Наиболее существенные отличия в этом случае отмечены для напряжения в зоне упругих деформаций: уменьшение межволоконных сил связи привело к снижению этой характеристики.

Таким образом, КЩО хвойной целлюлозы снижает абсолютные значения деформационных характеристик и работу разрушения, что обусловлено растворением мелкой фракции волокна и, как следствие, повышением толщины и снижением плотности отливки, а КЩО лиственной целлюлозы способствует некоторому повышению деформационных характеристик и работы разрушения. Это зависит от различного фракционного состава лиственных и хвойных видов целлюлозы, вследствие чего плотность лиственной целлюлозы после КЩО возрастает при одновременном повышении межволоконных сил связи.

Рост температуры на стадии КЩО лиственной целлюлозы приводит к дальнейшему повышению деформационных характеристик вследствие дополнительного увеличения плотности отливки и межволоконных сил связи. Одновременно возрастает работа разрушения, т.е. динамическая прочность волокна.

Использование на стадии КЩО добавок диспергаторов обеспечивает интенсивное набухание волокна, повышает его гибкость, вследствие чего снижается напряжение в зоне упругих деформаций и жесткость при растяжении при одновременном росте деформации и работы разрушения.

Сопоставление характера изменения деформационных и стандартных характеристик лиственной целлюлозы показало, что максимальные значения модуля упругости, жесткости при растяжении и работы разрушения имеют образцы с наиболее высокими значениями разрывной длины и индекса прочности при растяжении.

Поступила 17.03.10

U. Cibulsky¹, V.I. Komarov², L.A. Milovidova², T.A. Koroleva²

¹«Bim Kemi» (Finland)

²Arkhangelsk State Technical University

Influence of Conditions of Oxygen-Alkali Treatment on Deformation and Strength Properties of Sulphate Pulp. 2. Influence of Oxygen-Alkali Treatment Conditions of on Deformation Properties of Sulphate Pulp

It is established that toughening of oxygen-alkali treatment conditions of hardwood pulp results in increase of deformation properties, i.e. reduces the ability of hardwood pulp to deformation. The reverse tendency is observed for softwood pulp.

Keywords: hardwood and softwood pulp, oxygen-alkali treatment, deformation properties.

УДК 676.024.45

А.П. Руденко

Сибирский государственный технологический университет

Руденко Анатолий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1969 г. Сибирский технологический институт, доктор, профессор, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов и машиностроения Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 научных работ в области гидродинамики волокнистых суспензий и принудительного формования изделий из них.
E-mail: tolyrudenko@yandex.ru



О КЛАССИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ФОРМОВАНИЕМ

Предложена классификационная система, используя которую можно значительно ускорить процесс разработки конструкции и технологического процесса для принудительного формования изделий определенного функционального назначения.

Ключевые слова: волокнистая суспензия, классификационная система, жесткость, композиционный состав, ориентация волокон, принудительное формование, тарное изделие, функциональное назначение.

В результате детального анализа существующих технологических процессов производства формованных изделий и областей их использования стала реально разрешимой задача по созданию классификационной системы, в основу которой в качестве отличительных признаков были положены степень качества и точность исполнения.

Следует отметить, что точность исполнения формованных изделий увеличивается от 1-й до 5-й группы. При использовании данной классификационной системы появляется возможность значительно ускорить разработку конструкций формующих установок и технологических процессов изготовления формованного изделия определенного функционального назначения.

Изделия, получаемые формованием волокнистых суспензий, находят применение в различных отраслях промышленности [4, 5]. Их функциональное назначение многообразно: от различных видов упаковки одно- и многоразового использования до уникальных деталей и узлов радиотехнических устройств и изделий специального назначения [5, 6].

Принципиально похожие технологические процессы производства формованных изделий при детальном рассмотрении имеют существенные отличия, своевременный учет которых позволяет достичь требуемого качества при минимальных материальных и энергетических затратах. Практика получения подобных изделий принудительным формованием предполагает использование следующих основных технологических процессов: формование

без дозировки объема волокнистой суспензии с возвратом фильтрата, полученного при формовании, обратно в емкость с волокнистой суспензией; литье с дозировкой объема волокнистой суспензии мерным стаканом из заборной емкости без возврата фильтрата в емкость; литье с дозировкой объема волокнистой суспензии из отдельной емкости без возврата фильтрата.

Как показывает практика, модернизация существующих и создание новых технологических процессов производства формованных изделий при наличии соответствующей теоретической и практической базы становится эффективно реализуемой задачей, как правило, при наличии комплекса новационных инженерных решений.

В связи с этим вполне актуальной и своевременной представляется задача создания классификационной системы изделий, получаемых принудительным формованием волокнистых суспензий различного композиционного состава.

В данной работе предпринята первая попытка предложить подобную классификационную систему, не исключающую в дальнейшем совершенствование, внесение необходимых поправок и уточнений.

Наиболее удачной и приемлемой является классификация по качеству формованных изделий принудительного формования.

Основными исходными отличительными признаками, определяющими структуру классификационной системы по качеству, были приняты функциональность каждой конкретной группы изделий и необходимая точность исполнения.

Качество формованного изделия определяется следующими основными характеристиками: масса, композиционный и фракционный состав; удельная прочность и жесткость; равномерный просвет или наличие определенной ориентации волокон в структуре; специальные физические или химические свойства.

По мере повышения качества формованных изделий увеличивается как абсолютное количество вышеуказанных характеристик, так и ужесточение их значений, что регламентируется соответствующими техническими условиями или ГОСТами в зависимости от группы функционального назначения каждого изделия.

Классификационная система может быть представлена в следующем виде (табл. 1).

Практический аспект использования предлагаемой классификационной системы нуждается в соответствующих комментариях. Так, для 1-й группы изделий характерным является то, что их общее функциональное назначение предполагает наличие обыкновенной степени качества, заключающейся в соответствии оформленному товарному виду, регламентированном определенными прочностными показателями и нормальном по точности исполнения как изделия в целом, так и его отдельных элементов.

К этой группе относятся тарные изделия, а также корпусные детали для транспортировки и хранения пищевых продуктов, товаров ширпотреба, изделий промышленного назначения, предметов бытового использования и др. Нормальная точность исполнения изделий предполагает предельные отклонения основных размеров ($\pm 1 \dots 3$ мм).

Таблица 1

**Классификационная система изделий,
получаемых путем принудительного формования волокнистых суспензий**

Номер группы	Функциональное назначение изделия	Степень качества	Исполнение по точности	Другие отличительные признаки
1	Общее	Обыкновенные	Нормальное	Товарный вид
2	Специальное	Качественные	Точное	Достаточная жесткость и прочность
3	Специализированное	Качественные	Точное	Герметичность с нормальной утилизацией
4	Комбинированное	Высококачественные	Высокоточное	Сочетаемость с различными материалами
5	Целевое	Особо высококачественные	Прецизионное	Соответствие ГОСТ (ТУ) по размерам и структуре

К макро- и микроструктуре изделий данной группы требования специального характера не предъявляются. В подавляющем большинстве случаев изделия на заключительной стадии подвергаются нанесению наружного облагораживающего слоя или операции ламинирования.

Связь между точностью и пределами изменения отклонений размеров формованных изделий отражают данные табл. 2.

К изделиям 2- и 3-й групп в отношении точности исполнения предъявляются одинаковые требования, однако имеются и отличительные признаки. Так, для изделий 2-й группы (а это преимущественно детали различных машин) определяющими признаками надежности и долговечности являются удельные прочность и жесткость исполнения. Изделия 3-й группы, кроме жесткости и прочности, по истечении сроков использования должны обладать свойством достаточно надежно подвергаться утилизации или консервации (захоронение).

Таблица 2

**Степень точности и пределы изменения отклонений размеров
формованных изделий**

Номер группы	Степень точности	Пределы отклонений, мм
1	Нормальная	$\pm 1 \dots 3$
2	Точная	$\pm 1,0$
3	Точная	$\pm 1,0$
4	Высокоточная	$\pm 0,5$
5	Прецизионная	$\pm 0,01 \dots 0,001$

Технологические процессы формования изделий обеих групп в обязательном порядке включают операции специальной обработки волокнистых суспензий, а также использования определенных композиций в целях достижения требуемых показателей удельной прочности и жесткости.

Формованным изделиям 4-й группы присуще многообразие композиций, а также сочетание различных технологических операций для получения продукции со специальными свойствами (огнестойких, влагопрочных, с определенными аэродинамическими или акустическими свойствами, с рабочим наружным слоем специального функционального назначения и др.).

Для изделий 5-й группы характерным функциональным назначением является их целевое использование, они применяются только для комплектации строго определенных узлов или машин. К изделиям этой группы, например, относятся диффузоры головок прямого излучения электродинамических громкоговорителей. Степень точности исполнения таких изделий прецизионная, так как регламентируемые пределы отклонений толщины корпуса не должны превышать $\pm 0,01$ мм, а погонных элементарных участков – $\pm 0,001$ мм.

Кроме этого, особые требования предъявляются к ориентации волокон, которая достигается за счет создания специальных условий в технологическом процессе принудительного формования изделий из волокнистых суспензий различного композиционного состава.

Как было указано ранее, классификационная система изделий, получаемых принудительным формованием волокнистых суспензий различного композиционного состава, призвана, в первую очередь, существенно сократить временные затраты на разработку соответствующего технологического оборудования и технологического процесса получения формованных изделий.

Как это реализуется на практике, покажем на примере изготовления наиболее сложного изделия, относящегося к 5-й группе (функциональное назначение – целевое; исполнение по точности – прецизионное, степень качества – особо высококачественное). Следует отметить, что самая высокая степень качества (особо высококачественная) этого изделия, регламентируется высокими показателями по всем четырем характеристикам качества.

В качестве такого формованного изделия выбран акустический элемент – бумажный диффузор головки прямого излучения. Для производства такого изделия в промышленных условиях необходимо использовать соответствующие технологические оборудование и процесс, что должно гарантировать получение продукции с заданными ГОСТом акустическими параметрами.

Диффузор имеет коническую пространственную форму с переменной толщиной по образующей, убывающей от вершины до основания. Его масса после формования должна находиться в пределах $(2 \pm 0,1)$ г. Для производства данного изделия используется, как правило, длинноволокнистая суспензия, имеющая невысокий градус помола волокна ($22 \dots 24^\circ$ ШР) и концентрацию 0,1 %.

В автоматах литья дозированная подача суспензии при формировании выполняется с использованием мерного стакана, что является гарантией получения изделия заданной массы.

Для изготовления готового диффузора с необходимым просветом и определенным расположением волокон в структуре исходная суспензия в процессе формирования должна находиться в диспергированном состоянии, что может быть достигнуто только посредством гидродинамической закрутки потока суспензии в литьевом стакане. Такое состояние суспензии достигается, например, при ее подаче под оптимальным давлением в специально сконструированный литьевой стакан с тангенциально расположенными подающими патрубками [2].

Кроме этого, для получения заданных значений неравномерности частотной характеристики, согласно ГОСТ, корпус диффузора по толщине выполняется многослойным (обычно 2-3 слоя). По этой причине необходимо предусмотреть в технологическом процессе операцию послойного формирования корпуса изделия с конструктивной для этого проработкой узла формирования [3]. И наконец, чтобы иметь необходимую частоту механического резонанса данного изделия следует предусмотреть в конструкции узла формирования возможность поддержания различной величины вакуума в подсеточной области при формировании, что позволяет создавать оптимальные условия для получения как корпуса диффузора в целом, так и необходимой толщины его периферийной части [1].

Таким образом, при создании новых или модернизации существующих видов технологического оборудования для производства формованных изделий использование разработанной классификационной системы позволяет существенно упорядочить данный процесс в части использования готовых технических предложений или проведения собственных исследований по поиску принципиально новых инженерных решений.

Выводы

1. Анализ существующих технологических процессов производства формованных изделий из волокнистых суспензий и достаточно широкой сферы их практического использования позволил создать классификационную систему, в основу которой были положены такие отличительные признаки, как степень качества и точность исполнения.

2. Практическая ценность данной классификационной системы заключается в оперативном определении основных требований к технологическому оборудованию и процессам производства в соответствии с конкретным функциональным назначением проектируемого формованного изделия и (или) определенных его составных конструктивных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 477212 СССР, МКИ D21 j 7/00. Устройство для отлива диффузора / И.Д. Кугушев, О.А. Терентьев, А.П. Руденко, В.Е. Головки (СССР). – № 1959260/29-33; заявл. 18.09.1973; опубл. 15.7.1975, Бюл. № 26. – 2 с.

2. А.с. 485189 СССР, МКИ D21 j 7/00. Устройство для отлива диффузора / И.Д. Кугушев, О.А. Терентьев, А.П. Руденко, В.Е. Головки (СССР). – № 2006824/28-12; заявл. 21.03.1974; опубл. 25.9.1975, Бюл. № 35. – 2 с.

3. А.с. 771230 СССР, МКИ D21 j 7/00. Способ изготовления многослойных изделий / В.Е. Головки, И.Д. Кугушев, А.П. Руденко и О.А. Терентьев (СССР). – № 2652163/29-12; заявл. 31.7.1978; опубл. 15.10.80, Бюл. № 38. – 3 с.

4. Газиев А.Г., Гофрин Э.Б., Хлудцев А.Е. Производство литых изделий из растительно-волокнистых материалов – М.: ГИЗместпром, 1947. – 111 с.

5. Кузьминский Л.С. Целлюлоза, бумага, картон: реферат. информ. – М.: ВНИПИЭИлеспрром, 1973. – № 33. – С. 3–4.

6. Руденко А.П. Теоретические основы и пути совершенствования процессов массоподготовки и принудительного формования изделий из суспензий различного композиционного состава: дис. ... д-ра техн. наук. – Красноярск: СибГТУ, 2001. – 319 с.

Поступила 15.03.10

A.P. Rudenko
Siberian State Technological University

On Classification System of Items Produced by Forced Molding

The classification system is offered to speed up the process of the structure development and technological process for the forced molding of items of certain functionality.

Keywords: fiber suspension, classification system, stiffness, composite composition, lamination, fiber orientation, forced molding, container item, functionality.

УДК 676.022.04:577.15

Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков, Д.Н. Пошина, В.П. Чертовская

Северный (Арктический) федеральный университет

Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета, чл.-корреспондент РАН, лауреат премии им. М.В. Ломоносова. Имеет более 150 научных трудов в области технологии комплексной переработки сульфитных и сульфатных щелоков, ферментных технологий в химической переработке древесины, технологий очистки сточных вод.
E-mail: biotech@agtu.ru



Кондаков Александр Васильевич родился в 1983 г., окончил в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, доцент кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 12 научных работ в области процессов биотехнологии в ЦБП.
E-mail: biotech@agtu.ru



Пошина Дарья Николаевна родилась в 1985 г., окончила в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 6 научных работ в области использования ферментов для модификации свойств целлюлозных волокон.
Тел.: (8182) 21-61-90



Чертовская Валентина Петровна родилась в 1942 г., окончила в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, инженер кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 15 научных работ в области повышения качества технической целлюлозы.
Тел.: (8182) 21-61-90



ФЕРМЕНТАТИВНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ФРАКЦИЙ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ИЗ ГОФРОТАРЫ

Рекомендовано для повышения прочностных показателей бумаги коротковолокнистую фракцию обрабатывать амилазой, длиноволокнистую – целлюлазой.

Ключевые слова: макулатурная масса, фракции, целлюлаза, амилаза, свойства массы.

Многokратное возвращение макулатуры в производственный цикл приводит к постепенной потере волокнами ценных бумагообразующих свойств из-за их укорочения при размоле, старения и ороговения при сушке [2]. В промышленности используют четыре способа восстановления утраченного потенциала вторичных волокон: размол и рафинирование, химиче-

ское облагораживание, перемешивание с первичной волокнистой массой, фракционирование [1].

Одной из задач подготовки качественной макулатурной массы является удаление примесей: отработанного крахмального связующего, типографской краски и тонеров, липких включений. Применяемое для этой цели химическое облагораживание путем обработки гидроксидом натрия может быть с успехом заменено биохимической модификацией волокон с использованием ферментов: амилаз, целлюлаз, ксиланаз, эстераз [1, 5, 8].

Содержащиеся в макулатурной массе различные виды крахмалов в очередном цикле переработки сырья оказывают отрицательное влияние на прочностные свойства бумажной продукции [1, 6]. Крахмалопродукты из вторичных волокон удаляются при обработке амилотическими ферментами [1–3, 5, 6]. Улучшение бумагообразующих свойств вторичных волокон может быть достигнуто за счет модификации их ферментами целлюлазного типа [5, 9, 10].

В технологии подготовки макулатурной массы все шире применяют фракционирование [1, 7]. Обычно макулатуру делят на две фракции по длине волокна: коротко- (КВФ) и длиноволокнистую (ДВФ). Такой прием позволяет наиболее рационально подготовить, а затем и использовать разные фракции макулатуры. В результате существенно повышается качество продукции, снижаются потери мелкого волокна, экономится энергия, увеличивается производительность технологического потока. Наличие стадии фракционирования открывает новые возможности отдельной обработки ферментами получаемых фракций волокна.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния ферментативной модификации препаратами целлюлаз и амилаз на состав и свойства фракций вторичных волокон.

Пробы ДВФ и КВФ, полученные из макулатуры марки МС-5Б, отбирали из производственного потока Сухонского ЦБК. Примерное соотношение между ДВФ и КВФ составляло 70...80 : 20...30 %. Они были отжаты до сухости 20...22 %, для проведения опытов их разбавляли до нужной концентрации дистиллированной водой.

В работе применяли следующие ферментные препараты компании «Novozymes A/S» (Дания): целлюлаза Fiber Care D, α -амилаза Aquazym 120 L и глюкоамилаза Saczyme. Обработку этими препаратами проводили в оптимальных для действия ферментов условиях.

Для выявления деструктирующего действия ферментов использовали достаточно большой расход препаратов. Обработку макулатурной массы целлюлазой проводили при концентрации 3 %, температуре 50 °С в течение 2 ч и рН 7,0. Дозировку препарата варьировали в широком интервале – 2...30 кг/т волокна. Обработку фракций амилотическими ферментами осуществляли при концентрации массы 5 %, температуре 50 °С в течение 3 ч и рН 7,0 для α -амилазы и рН 6,0 для глюкоамилазы. Расход амилаз составлял 5 кг/т волокна. После обработки массу промывали на воронке Бюхнера дистиллированной водой, в фильтрах определяли ХПК и после дополни-

тельной инверсии 2 %-й соляной кислотой продуктов ферментативного гидролиза до моносахаридов содержание общих РВ. Для оценки влияния удаления крахмала на свойства массы определяли степень помола и обезвоживающую способность массы на аппарате Шоппер–Риглера.

При изучении влияния биомодификации на бумагообразующие свойства макулатурной массы использовали условия, близкие к производственным. Пробы ДВФ и КВФ брали из производственного потока при концентрации массы около 3 % и подвергали обработке α -амилазой при температуре 30 °С в течение 20...65 мин. Расход α -амилазы при этом составлял 0,5 кг/т волокна. Проба массы из машинного бассейна представляла собой смесь ДВФ и КВФ в соотношении примерно 4:1. Ее при концентрации волокна 3,5 % обрабатывали целлюлазой при температуре 30 °С в течение 30 мин. Расход целлюлазы составлял 0,3 и 0,5 кг/т волокна. После обработки ферментами изготавливали отливки, их испытывали по стандартным методикам.

Основными первичными волокнистыми полуфабрикатами, применяемыми для изготовления гофрокартона, являются небеленая сульфатная хвойная целлюлоза и листовая нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза (НСПЦ). По сравнению с волокнами указанных полуфабрикатов волокна макулатурной массы в процессе многократной переработки претерпевают необратимые изменения. В результате протекания процессов укорочения и ороговения вторичные волокна имеют значительно меньшую длину с преобладанием средне- и коротковолокнистых фракций, слабо развитую внешнюю и внутреннюю поверхность, ограниченную способность к гидратации и набуханию [1].

ДВФ и КВФ существенно различаются по составу и свойствам. ДВФ содержит преимущественно длинные и грубые хвойные сульфатцеллюлозные волокна, имеет более низкую степень помола, труднее размалывается. В КВФ представлены в основном короткие листовые волокна НСПЦ, в состав этой фракции входят также сульфатцеллюлозные волокна, сильно разрушенные и укороченные в процессе предыдущих циклов переработки. КВФ имеет большую активную поверхность волокон, легче адсорбирует и удерживает различные химикаты (крахмал, клей), но отличается более слабыми прочностными показателями в сравнении с ДВФ, при меньшей водоотдаче имеет повышенную способность к гидратации и набуханию. Эти фракции для достижения оптимальных бумагообразующих свойств требуют различных режимов размола [1]. Показана целесообразность раздельного введения в каждую из фракций катионного крахмала и клея [4].

Пробы фракций были отобраны дважды в разное время. На предприятии разбавление разных фракций производится одной и той же оборотной водой, в составе которой накапливаются крахмал и другие растворенные вещества. За счет обезвоживания до сухости 20...22 % содержание в пробах компонентов оборотных вод было сведено к минимуму. Это позволило изучать действие ферментов именно на волокна, входящие в состав КВФ и ДВФ.

КВФ I и ДВФ I, отобранные для первой серии экспериментов одновременно, при практически равной загрязненности фильтратов существенно различались по степени помола и способности к обезвоживанию (табл. 1). Адсорбция крахмала лучше идет на мелких волокнах из-за большей площади поверхности, поэтому в КВФ содержится основная часть крахмалопродуктов, добавленных в предыдущих циклах переработки. Крахмал на поверхности волокон представлен остатками отработанного крахмального связующего, фрагменты которого в водной среде имеют склонность к набуханию и гидратации и могут в некоторой степени ухудшать водоотдачу вторичного волокна.

Пробы КВФ II и ДВФ II второго отбора при меньшей степени загрязненности фильтратов имели значительно более высокую степень помола, соответственно 29,5 и 22,5 °ШР. Большое различие в свойствах макулатуры разных партий – одна из основных проблем, которая не позволяет получать из вторичного волокна продукцию стабильного и высокого качества.

Селективное удаление крахмала с поверхности волокон возможно с помощью амилалитических ферментов. Переход продуктов деструкции крахмала в раствор фиксировали по приросту РВ (после инверсии) и увеличению показателя ХПК в фильтрате макулатурной массы. Прирост указанных показателей был не очень значительным, вероятно, это связано с ограниченной доступностью отработанного крахмального связующего к действию ферментов. Следует учитывать, что только часть старого крахмала находится на поверхности волокон, тогда как другая его часть плотно упакована в микрокапиллярной структуре клеточных стенок вторичных волокон.

Более эффективное удаление крахмала под действием α -амилазы в сравнении с глюкоамилазой объясняется различным механизмом их действия на субстрат. α -Амилаза произвольно расщепляет связи в молекуле крахмала, в результате степень полимеризации быстро снижается. Продуктами деструкции являются относительно низкомолекулярные фрагменты – декстрины, которые могут как переходить в раствор, так и оставаться закрепленными на поверхности волокна. Глюкоамилаза отщепляет глюкозу с концов макромолекул крахмала, в результате чего степень полимеризации остаточного крахмала снижается менее интенсивно, чем при действии α -амилазы.

Показатель ХПК фильтрата примерно в два раза превышает уровень общих РВ, что свидетельствует о переходе в раствор не только продуктов деструкции крахмала, но и других органических веществ, присутствующих в волокне. Разрушение фрагментов крахмального связующего повышает доступность поверхности волокна для действия воды, а также освобождает часть связанных загрязнений, способствуя их переходу в оборотную воду. Повышение ХПК фильтрата более выражено при обработке КВФ, что подтверждает данные о ее высокой адсорбционной способности и большей загрязненности нецеллюлозными примесями.

Таблица 1

Обработка фракций макулатурной массы амилотическими ферментами

Фракция	Фермент	Расход фермента, кг/т волокна	РВ после инверсии, мг/г волокна	ХПК, мг/г волокна	Степень помола, °ШР	Обезвоживающая способность, с			
						300 мл	500 мл	700 мл	800 мл
ДВФ I	Контроль	–	8	15	20,0	2	5	15	23
	α -Амилаза	5	10	19	20,5	2	6	17	25
	Глюкоамилаза	5	8	19	19,5	2	5	15	23
	Смесь ферментов	5 + 2	10	19	20,0	2	7	16	25
КВФ I	Контроль	–	8	16	24,0	2	7	21	32
	α -Амилаза	5	11	25	25,5	2	9	24	36
	Глюкоамилаза	5	10	21	24,0	3	9	23	33
	Смесь ферментов	5 + 2	11	25	24,0	3	10	23	34
КВФ II	Контроль	–	6	11	29,5	5	16	40	64
	α -Амилаза	5	9	16	30,0	5	17	42	63
	Глюкоамилаза	5	8	15	29,5	4	16	40	63
	Смесь ферментов	5 + 2	11	17	28,5	4	15	34	56

Ранее сообщалось [3], что снижение выхода волокнистой массы из гофротары после обработки α -амилазой может достигать 3,66...8,69 %. Одновременно при такой обработке происходит значительное снижение степени помола, что позволяет предположить, что основная часть потерь связана с деструкцией растворенного крахмала в оборотной воде, оставшейся с массой, а также с удалением очень мелкого волокна при промывке водой и сгущении массы.

В наших экспериментах обработке амилолитическими ферментами подвергались влажные волокна КВФ и ДВФ, от которых было отделено основное количество оборотной воды. При действии амилолитических ферментов больше крахмалопродуктов удалялось из КВФ (табл. 1), наиболее интенсивно это происходило при обработке α -амилазой. Изменение степени помола массы, в отличие от работы [3], было небольшим или совсем отсутствовало, а дополнительные потери выхода за счет растворения крахмала даже при большом заданном расходе амилаз были низкими – всего 2...5 мг/г волокна.

Действие двух амилолитических ферментов по-разному сказывается на обезвоживающей способности фракций. Несмотря на дополнительное удаление крахмала в присутствии α -амилазы, обезвоживающая способность КВФ и ДВФ ухудшилась по сравнению с контролем. Это можно объяснить тем, что частичное разрушение крахмала α -амилазой активизирует процесс его набухания на волокне. Степень деструкции крахмала при действии глюкоамилазы была ниже. Если в этом случае набухание крахмала и имеет место, то оно весьма ограничено и не влияет на водоотдачу массы.

Смесь амилолитических ферментов способна полностью деструктировать макромолекулы крахмала. В наших экспериментах эффект ее действия для ДВФ I и КВФ I сопоставим с действием одной α -амилазы, однако для КВФ II получено улучшение обезвоживающей способности.

Положительное влияние на обезвоживание оказывает также применение специфичных целлюлаз или гемицеллюлаз [5]. В нашем исследовании была использована монокомпонентная эндоглюканаза Fiber Care D, обладающая очень избирательным действием на вторичные волокна.

Учитывая особенности состава ДВФ и КВФ, можно было ожидать, что результаты ферментативной обработки этих фракций целлюлазой будут существенно отличаться. Однако действие препарата Fiber Care D на обе фракции было примерно одинаковым. Загрязненность фильтратов из ДВФ и КВФ после обработки целлюлазой незначительна. Потери углеводов, определенные по выходу общих РВ после инверсии, даже при чрезвычайно высокой дозировке фермента (30 кг/т волокна) составляли всего 13...15 мг/г волокна. При этом часть перешедших в раствор углеводов, вероятно, представлена продуктами деструкции крахмала. Загрязненность фильтратов по показателю ХПК примерно в 2,5 раза выше – 28...34 мг/г волокна, что указывает на заметное растворение в процессе ферментативной обработки веществ неуглеводного характера.

В целом препарат Fiber Care D оказывает слабое деструктирующее воздействие на вторичное волокно даже при очень высоких расходах фер-

мента (табл. 2). Вполне возможно, что крахмал, находящийся на поверхности волокон, является физическим барьером и создает препятствия для действия целлюлаз, применяемых для восстановления бумагообразующих свойств вторичных волокон.

Процесс размола макулатурной массы сопровождается интенсивным удалением крахмала. В ходе размола вторичного волокна наблюдается увеличение степени загрязненности оборотных вод, на что указывает повышение показателя ХПК, прирост которого становится особенно заметным при степени помола массы выше 30 °ШР [2].

Таблица 2

Обработка фракций макулатурной массы целлюлазой Fiber Care D			
Фракция	Расход фермента, кг/т волокна	РВ после инверсии	ХПК
		мг/т волокна	
КВФ I	Контроль	–	17
	2	–	20
	5	–	23
	10	–	34
	30	19	44
ДВФ I	Контроль	6	15
	2	10	21
	5	10	26
	10	13	31
	30	16	49

Таблица 3

Влияние обработки амилазой на показатели прочности отливок из ДВФ и КВФ макулатурной массы

Условия обработки амилазой		Показатели прочности		
Расход амилазы, кг/т волокна	Продолжительность обработки, мин	Степень помола, °ШР	Разрывная длина, м	Сопrotивление продавливанию, кПа
Длинноволокнистая фракция				
–	–	23	3600	331
0,5	30	24	2900	289
–	–	36	5150	450
0,5	30	37	4900	456
Коротковолокнистая фракция				
–	0	40,0	3450	285
0,5	20	39,0	3870	286
0,5	65	38,5	3800	320

При обработке неразмолотой ДВФ с расходом α -амилазы 0,5 кг/т волокна без изменения степени помола наблюдалось снижение показателей механической прочности отливок (табл. 3). Вероятно, набухание отработанного крахмального связующего на поверхности волокна вызвало ухудшение связеобразования в листе бумаги. Предварительное удаление поверхностно расположенного крахмала посредством механического воздействия в процессе размола ДВФ привело к тому, что при последующей обработке

α -амилазой существенных изменений в степени помола и показателях прочности отливок не отмечено.

Проба КВФ макулатурной массы, отобранная в условиях производства, при концентрации 3,5 % изначально имела высокую степень помола – 40 °ШР, что объясняется тем, что после отделения и сгущения этой фракции ее разбавляли оборотной водой с высоким содержанием мелкого волокна и растворенного крахмала. Эту пробу обрабатывали амилазой с расходом 0,5 кг/т волокна. Степень помола ферментативно обработанной КВФ в результате деструкции растворенного крахмала снижалась, а прочностные показатели отливок при этом возрастали (табл. 3).

Очевидно, что при небольших расходе и продолжительности обработки крахмал, находящийся на волокне, затрагивается в незначительной степени. Улучшение связеобразования и повышение прочности листа бумаги связано с деструкцией крахмала, растворенного в оборотной воде.

Модификация целлюлазами размолотых волокон обычно приводит к улучшению обезвоживания массы, повышению скорости БДМ [5, 9, 10], но одновременно может вызывать снижение прочности не только самих волокон, но и изготовленных из них бумаги и картона. Обработка пробы массы, взятой из машинного бассейна, препаратом Fiber Care D при степени помола 25 °ШР не привела к ускорению обезвоживания, однако несколько увеличилась разрывная длина бумаги (табл. 4). Следовательно, при тех расходах фермента, которые использовали при обработке массы из машинного бассейна, деструкция волокна практически отсутствовала.

Таблица 4

8

**Влияние обработки целлюлазой Fiber Care D
композиции массы из машинного бассейна**

Расход фермента, кг/т волокна	Степень помола массы, °ШР	Разрывная длина, м	Сопrotивление продавливанию, кПа
–	25	3450	230
0,3	25	3800	225
0,5	26	3650	220

Эффект ускорения обезвоживания массы при действии целлюлаз связан с частичным дефибриллизацией волокон и деструкцией «мелочи», находящейся в оборотной воде. Данный эффект сильнее проявляется в диапазоне достаточно высоких степеней помола (более 32 °ШР) [3], что связано с повышенным образованием мелочи при интенсивном размоле вторичного волокна. Однако при сильном размолу значительно уменьшается водоотдача массы, что снижает скорость и производительность БДМ. На большинстве отечественных бумажных фабрик размалывают массу до низкой степени помола – 25...30 °ШР, хотя оптимальной для развития прочностных свойств вторичных волокон является степень помола 35...40 °ШР [1]. Использование избирательно действующей целлюлазы Fiber Care D позволит

улучшить обезвоживающую способность хорошо размолотой массы при сохранении высокой прочности и выхода волокна.

Таким образом, селективно действующие препараты амилаз и целлюлаз способны удалять компоненты, которые снижают водоотдачу волокнистой массы и ухудшают связеобразование в листе бумаги. Применение ферментных технологий – перспективное направление улучшения бумагообразующих свойств вторичных волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 1118 с.
2. Лапин В.В., Смоляков А.И., Кудрина Н.Д. Загрязнения в бумажной массе из 100 % макулатуры: влияние на степень помола и прочность бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2001. – № 7–8. – С. 32–34.
3. Лапин В.В., Смоляков А.И., Кудрина Н.Д. Проблема прочностных свойств бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев из 70...100 % макулатуры: роль размола // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2002. – № 9–10. – С. 34–37.
4. Ковернинский И.Н., Дулькин Д.А., Блинущова О.И. Бумажная масса для тест-лайнера // Материалы IV Всерос. науч. конф. «Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья». – Барнаул, 2009. – С. 246–247.
5. Петерсен Х.Х. Применение ферментов в технологии переработки макулатуры // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: науч. тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. – Караваево, 2006. – С. 31–34.
6. Проблема переработки макулатуры, содержащей катионные и анионные виды крахмалов / Н.И. Яблочкин [и др.] // Науч. тр. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. «Технология переработки макулатуры». – Караваево-Правда, 2005. – С. 19–21.
7. Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н. Макулатура в технологии картона. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 252 с.
8. Vajraj P. Application of enzymes in the pulp and paper industry // Biotechnol. Prog. – 1999. – N 15. – P.147–157.
9. Pommier J-C., Fuentes J-L., Goma G. Using enzymes to improve the product quality in the recycled paper industry. Part I. The basic laboratory work // Tappi Journal. – 1989. – Vol. 72, N 6. – P. 187–191.
10. Using enzymes to improve the product quality in the recycled paper industry. Part II. Industrial applications / J-C. Pommier, [et al] // Tappi Journal. – 1990. – Vol. 73, N 12. – P. 197–200.

Поступила 09.09.09

E.V. Novozhilov, A.V. Kondakov, D.N. Poshina, V.P. Chertovskaya
Arkhangelsk State Technical University

Enzymatic Modification of Recycled Pulp of Corrugated Packaging

It is recommended to treat short-fibered fraction by amylase for enhancing the strength properties of paper, whereas to treat long-fibered fraction by cellulase.

Keywords: recycled mass, fractions, cellulase, amylase, fiber properties.

УДК 676.2.052.

Е.Г. Смирнова, С.А. Добрусина, Е.А. Зайцева

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Смирнова Екатерина Григорьевна родилась в 1961 г., окончила Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 25 научных публикаций.
E-mail: smirnovaLTA@gmail.com



Добрусина Светлана Александровна окончила Московский химико-технологический институт, доктор технических наук, профессор кафедры целлюлозно-бумажного производства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 150 научных публикаций.
E-mail: dobrusina@nlr.ru



ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОКЛЕЙКИ ОКИСЛЕННЫМ 8* КРАХМАЛОМ НА СТАРЕНИЕ БУМАГИ ДЛЯ ОФСЕТНОЙ ПЕЧАТИ

Установлено, что поверхностная проклейка окисленным крахмалом повышает устойчивость физико-механических и структурных свойств бумаги для офсетной печати в процессе старения, что позволит продлить срок ее хранения и эксплуатации.

Ключевые слова: бумага, офсетная печать, поверхностная проклейка, окисленный крахмал, тепло-влажное старение, физико-механические свойства бумаги.

Бумага для офсетной печати является одной из наиболее распространенных при многотиражном печатании газет, журналов, школьных учебников, репродукций, плакатов и т. д., а также может использоваться для печати на офисной технике. Офсетным способом в мире печатают примерно 50 % изданий различных видов, и такая тенденция прогнозируется до 2014 г. [6].

В производстве печатных видов бумаги важную роль играет поверхностная проклейка, которая обеспечивает бумаге необходимую впитывающую способность к печатным краскам, улучшает структурно-механические свойства, снижает пылимость и выщипывание при нанесении печати, повышает устойчивость к деформации во влажном состоянии [3].

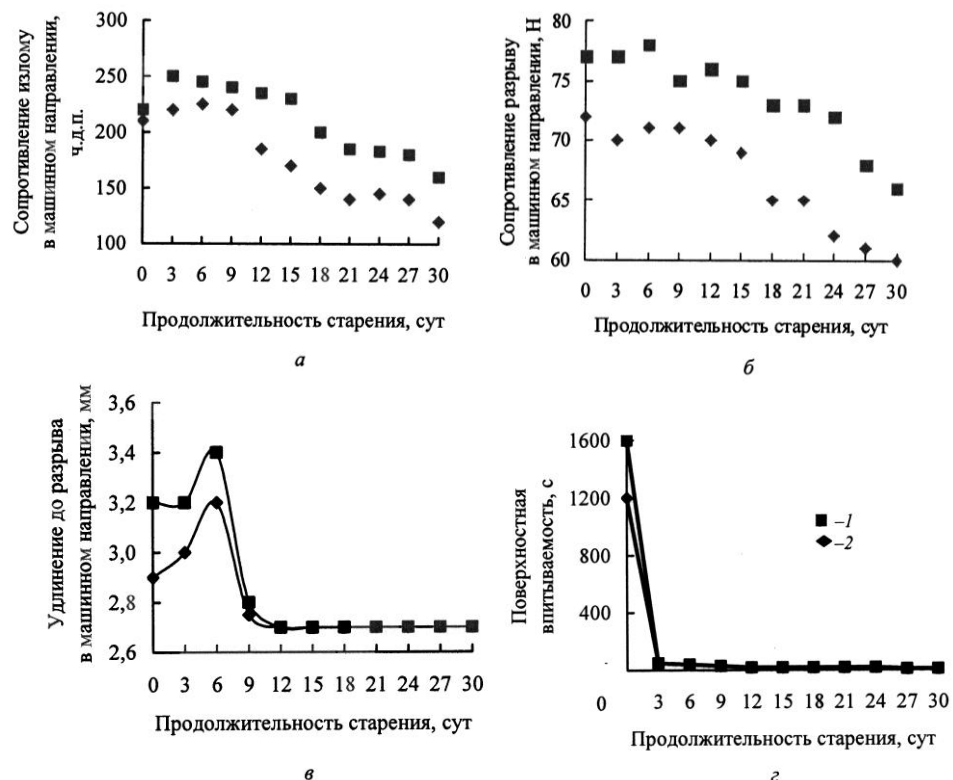
Для поверхностной проклейки наиболее часто применяют модифицированный химическим или физико-химическим способами крахмал. Примерно 60 % всего объема потребления модифицированных видов крахмалов приходится на долю окисленного. При окислении получают высокодисперсные коллоидные растворы с пониженной вязкостью, обладающие высокой адгезией, которые глубже проникают в поры бумаги, лучше склеивают волокна, дают более прочную пленку. Поэтому окисленный крахмал часто

применяют в качестве основного связующего при поверхностной проклейке бумаги и дополнительного связующего в меловальных пастах [4, 5].

Целью данной работы является изучение влияния поверхностной проклейки окисленным крахмалом на устойчивость физико-механических и структурных свойств бумаги для офсетной печати в процессе ее длительного хранения.

В ранее выполненных исследованиях по оценке долговечности бумаги для офсетной печати был предложен следующий композиционный состав [1, 2]: беленая сульфатная листовая целлюлоза – 60 %, беленая сульфатная хвойная целлюлоза – 40 %. Для внутримассной проклейки использовали клей на основе алкилкетендимера (АКД), в качестве наполнителя – химически осажденный мел. В состав системы удержания мелкого волокна и наполнителя входили катионный крахмал и силикагель.

На основании полученных данных в соответствии с разработанной композицией на С.-Петербургской бумажной фабрике Гознака выполнена опытная выработка бумаги для офсетной печати массой $1 \text{ м}^2 80 \text{ г}$ с поверхностной проклейкой с обеих сторон 1 %-м раствором окисленного крахмала (образец 1) и без нее (образец 2).



Изменение сопротивления излому (*а*) и разрыву (*б*), удлинения до разрыва в машинном направлении (*в*) и поверхностной впитываемости с лицевой стороны (*г*) в процессе старения бумаги с поверхностной проклейкой (1) и без поверхностной проклейки (2)

Многие современные зарубежные производители бумаги для печати и офисной техники гарантируют сохранение свойств бумаги на необходимом для эксплуатации уровне в течение 150...200 лет. В целях прогнозирования свойств исследуемых образцов бумаги в процессе естественного старения проведено искусственное тепло-влажное старение в климатической камере Binder. Режим старения соответствовал требованиям стандарта ISO 56-30:1986 «Бумага, картон. Ускоренное старение (часть 3). Обработка влажным теплом при температуре 80 °С и относительной влажности 65 %». Достаточно условно принято считать, что трое суток искусственного тепло-влажного старения соответствуют 25 годам естественного старения [7].

Продолжительность старения составила 30 сут. Образцы исследовали с интервалом 3 сут. В процессе старения определены основные физико-механические и структурные свойства бумаги с поверхностной проклейкой и без нее. Прочность на излом при многократных перегибах определяли по ГОСТ 13525.1–80, прочность на разрыв и удлинение при растяжении – по ГОСТ 13525.1–79, поверхностную впитываемость – капельным способом по ГОСТ 12603–82. Показатель рН исследуемых образцов бумаги измеряли контактным способом с помощью плоского стеклянного электрода (Mettler Toledo Lot 403-M8-S7/120 refill 9811), соединенного с датчиком рН-метра (Knick Mikroprozessor-pH-Meter 763), который позволяет определять рН в одной капле раствора.

Как видно из рисунка *a* и *b*, перед началом старения бумага с поверхностной проклейкой имела более высокие показатели сопротивления излому и разрыву. В процессе старения показатели механической прочности у обоих образцов бумаги понижаются, однако у бумаги с поверхностной проклейкой они сохраняются на более высоком уровне. По окончании старения потери прочности по сопротивлению излому образца 1 составляют 27 %, образца 2 – 43 %, по разрушающему усилию – соответственно 13 и 16 %.

До начала старения бумага с поверхностной проклейкой имеет большее удлинение до разрыва, чем бумага без проклейки (см. рисунок *в*). Очевидно, окисленный крахмал, проникая в поверхностные слои бумаги, способствует повышению гибкости и эластичности волокон. В процессе тепло-влажного старения удлинение до разрыва у обоих образцов увеличивается в первые 6 сут старения, что, скорее всего, связано с дальнейшим возрастанием гибкости волокон в условиях повышенной влажности. При этом облегчается подвижность и скольжение волокон в бумаге с частичным устранением их жесткого закрепления. К 9 сут старения уменьшение сил связи между волокнами уже не компенсируется возрастанием гибкости волокон, и удлинение до разрыва снижается у обоих образцов до уровня, ниже первоначального.

Как и следовало ожидать (см. рисунок *г*), меньшей поверхностной впитываемостью до старения обладала бумага с поверхностной проклейкой. Для обоих образцов в процессе старения отмечается резкое увеличение этого показателя уже к 3 сут старения, что связано с потерей гидрофобности бумаги в результате деструкции проклеивающих веществ, использованных

как в массе, так и при поверхностной проклейке. При этом поверхностная впитываемость становится практически одинаковой: для образца 1 – 74 с, 2 – 95 с, а к 30 сут – соответственно 12 и 11 с.

Величина водородного показателя у бумаги без поверхностной проклейки (образец 2) находится в нейтральной (рН 7,0) области, у бумаги с поверхностной проклейкой (1) – в слабо кислой (рН 5,9). Однако в течение первых 3 сут старения значение водородного показателя бумаги 2 переходит в слабо кислую (рН 5,8) область и в дальнейшем, вплоть до 30 сут старения, у обоих образцов практически не изменяется, сохраняясь на одинаковом уровне (рН 5,5).

Выводы

1. Механические показатели (сопротивление излому и разрыву) бумаги для офсетной печати с поверхностной проклейкой стабильны и на протяжении всего процесса искусственного старения выше, чем у бумаги без поверхностной проклейки. Поверхностная проклейка окисленным крахмалом способствует также возрастанию абсолютного удлинения бумаги до разрыва на протяжении 6 сут искусственного старения.

2. Бумага с поверхностной проклейкой обладает меньшей поверхностной впитываемостью, но уже к 3 сут искусственного старения показатели бумаги обоих видов практически выравниваются, составляя для образца 1 – 74 с, для образца 2 – 95 с.

3. Процесс искусственного тепло-влажного старения не оказывает значительного влияния на рН бумаги обоих видов, который для бумаги 1 сохраняется на уровне 5,9...5,5, для бумаги 2 – 7,0...5,5.

4. Поверхностная проклейка бумаги для офсетной печати окисленным крахмалом повышает стабильность физико-механических свойств бумаги в процессе искусственного тепло-влажного старения, что позволяет сделать прогноз об увеличении срока ее хранения и эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долговечность целлюлозных материалов для производства печатных видов бумаги / Е.Г. Смирнова [и др.] // Целлюлоза. Бумага. Картон, – 2007. – № 12. – С. 33–35.

2. Евтюхов С.А., Смирнова Е.Г., Лоцманова Е.М. Влияние химических и вспомогательных веществ на устойчивость к старению бумаги для офсетной печати // Новое в химии бумажно-картонного производства и полиграфии: тр. междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2006. – С. 29–32.

3. Климова Е.Д. Основные дефекты печатной продукции, обусловленные несоответствием свойств бумаги условиям технического процесса // Современные достижения в производстве и использовании бумаги и картона для печати: тр. науч.-практ. конф. – СПб., 2004. – С. 31–35.

4. Копыльцов А.А. Применение крахмала в производстве бумаги и картона. – Москва, 2006. – 42 с.

5. Крахмалы для поверхностной проклейки // Raisio Chemicals. – 1998.

6. *Махотина Л., Рибен Ф.* Тенденции в технологии легкой мелованной бумаги. – СПб.: Омия, 2005. – 22 с.

7. Über die Dauerhaftigkeit unserer Bücherpapiere // Wochenbl. für Papierfabr. – 1964. – Bd. 92, N 4. – S. 21–23.

Поступила 09.07.09

E.G. Smirnova, S.A. Dobrusina, E.A. Zaitseva
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

Influence of Surface Sizing by Oxidized Starch on Paper Ageing for Offset Printing

It is established that surface sizing by oxidized starch raises stability of physical-mechanical and structural paper properties for offset printing in its ageing process allowing to prolong its storage and operation life.

Keywords: paper, offset printing, surface sizing, oxidized starch, thermomoist ageing, physico-mechanical properties of paper.



УДК 676.12.022

Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун

Пермский государственный технический университет

Хакимова Фирдавес Харисовна родилась в 1938 г., окончила в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 160 научных трудов в области теории и технологии целлюлозы.
E-mail: tcbp@pstu.ru



Ковтун Татьяна Николаевна родилась в 1951 г., окончила в 1975 г., Пермский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского государственного технического университета. Имеет более 90 печатных работ в области теории и технологии целлюлозы.
E-mail: tcbp@pstu.ru



ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ПЕРЕРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ГАЗЕТНОЙ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Установлено, что увеличение циклов переработки приводит к снижению физико-механических свойств макулатурной массы.

Ключевые слова: газетная макулатура, роспуск, флотация, циклы переработки, макулатурная масса, физико-механические свойства, пероксид водорода, белизна.

Объемы переработки и потребления макулатурного сырья в производстве бумаги и картона в большинстве развитых стран постоянно возрастают. Использование макулатуры в качестве вторичного волокна способствует экономии древесины, снижает себестоимость бумажной продукции, нагрузку на окружающую среду и т. д. Основной целью переработки макулатуры является получение качественной волокнистой массы, которую можно применять в композиции бумаги и картона, максимально заменяя первичные волокнистые полуфабрикаты. Однако качественные показатели макулатурного волокна всегда ниже, чем у первичных волокон, что обусловлено множеством факторов. В первую очередь это связано с тем, что в процессе переработки волокнистого сырья происходит укорочение волокон при размоле, а сушка сопровождается снижением способности волокон к набуханию из-за необратимого орогования. Одним из основных факторов ухудшения свойств регенерируемых волокнистых полуфабрикатов является число циклов их переработки, снижающих качественные показатели волокна.

Цель данной работы – изучение влияния цикличности использования газетной макулатуры на показатели макулатурной массы. Для исследований использовали макулатуру марки МС-8В – отходы производства и потребления газетной бумаги (ГОСТ 10700).

В лабораторных условиях газетную макулатуру распускали на волокна и подвергали флотации в целях удаления типографской краски из макулатурной массы. Условия роспуска и флотации приняты на основании предварительных исследований. Для более полного разделения пучков и ступков на отдельные волокна и отделения типографской краски от волокон процесс роспуска макулатуры проводили в присутствии химических реагентов в щелочной среде. В исследованиях использовали следующие химикаты с расходом, % от абс. сухого волокна: NaOH – 1,75; H₂O₂ – 3,00; Na₂SiO₃ – 5,00; стеариновая кислота – 1,00.

Процесс роспуска макулатуры осуществляли в присутствии химикатов в течение 40 мин при концентрации массы 5 % и температуре 55...60 °С. После окончания роспуска макулатурную массу выдерживали 2 ч для набухания волокон и завершения реакций, далее разбавляли до концентрации 0,8 % и осуществляли флотацию.

Удаление типографской краски путем флотации играет важную роль в процессе переработки макулатуры. Другие способы не позволяют удалять типографскую краску из макулатурной массы так эффективно. Процесс флотации заключается в сближении поверхностей пузырька воздуха и частички типографской краски, закреплении частички краски на пузырьке и транспортировке агломерата пузырек-частичка краски к поверхности флотационной пульпы в пену. Для облегчения указанных процессов и повышения эффективности при флотации использовали ПАВ – стеариновую кислоту (расход – 1,0 % от абс. сухого волокна).

Флотацию проводили на лабораторной установке, состоящей из сосуда, в нижней части которого расположен пористый стеклянный фильтр. Через него с помощью вакуум-насоса нагнетали воздух. Продолжительность процесса – 5 мин при постоянном отборе образовавшейся пены, содержащей типографскую краску с поверхности массы в сосуде. Таким образом, по окончании флотации в сосуде оставалась облагороженная макулатурная масса, которую использовали в исследованиях. Результаты облагораживания оценивали по выходу макулатурной массы после флотации, характеризующему потери волокна, и изменению белизны, указывающей на степень удаления типографской краски (табл. 1).

Анализ полученных результатов показывает, что белизна необлагороженной макулатурной массы из газетной макулатуры очень низкая (42,5 %), что значительно ниже, чем у массы из бумаги без типографской краски.

Таблица 1

Результаты облагораживания газетной макулатуры

Макулатурная масса	Белизна, %	Выход макулатурной массы, %
Из бумаги без типографской краски (поля газеты)	58,8	–
Исходная газетная до облагораживания	42,5	–
После роспуска и флотации в одну ступень	50,0	83,7
« « « « в две ступени	54,3	67,6

Флотация как в одну, так и в две ступени повышает белизну макулатурной массы, однако этот показатель остается достаточно низким (50...54 %). Вероятно, это можно объяснить тем, что в процессе роспуска происходит недостаточное разрушение связующих компонентов типографской краски, и часть ее остается на волокнах и не отделяется при флотации.

Флотация одновременно сопровождается потерями волокна, которые после процесса в одну ступень составляют 16,3 %, в две ступени – 32,4 %.

Белизна – важнейшее свойство макулатурной массы, используемой в композиции бумаги для печати и письма, санитарно-бытового и гигиенического назначения, а также некоторых марок картона. В композиции перечисленных видов бумажно-картонной продукции содержание макулатурной массы неуклонно возрастает, что повышает требования к ее белизне.

В целях выяснения возможности повышения белизны макулатурной массы проведена ее отбелка пероксидом водорода в одну и две ступени (схемы П-К; П-П-К). Выбор для отбелки пероксида водорода был обусловлен его экологической безопасностью и сохранением лигнина в процессе отбелки при сохранении выхода беленой макулатурной массы.

Условия отбелки пероксидом водорода: температура – 60 °С; продолжительность – 120 мин (на каждой ступени отбелки); концентрация массы – 8 %. Расход реагентов на каждой ступени, % от абс. сухого волокна: H_2O_2 – 3; NaOH – 2; Na_2SiO_3 – 5; трилон Б – 1. Условия кислотки (К): температура – 20 °С; продолжительность – 40 мин; расход HCl – 1 % от абс. сухого волокна.

Результаты отбелки пероксидом водорода в одну ступень (П-К) показали несущественное повышение белизны макулатурной массы. В табл. 2 приведены данные, полученные при отбелке в две ступени (П-П-К).

Более тщательное удаление типографской краски при флотации в две ступени позволяет получить и при отбелке макулатурную массу более высокой белизны (66,4 %). По данному показателю такая макулатурная масса может быть использована в композиции газетной и санитарно-гигиенических видов бумаги.

Выход беленой макулатурной массы (от облагороженной) в обоих случаях различается незначительно (на 1,5 %), однако выход беленой макулатурной массы от исходной макулатуры в случае отбелки макулатурной массы двухступенчатой флотации заметно (на 13 %) ниже. Кроме того, отбелка газетной макулатурной массы связана с большим расходом химикатов.

Таблица 2

Результаты отбелки макулатурной массы по схеме П-П-К

Беленая макулатурная масса	Белизна, %	Выход, %, от массы	
		облагороженной	исходной
После флотации в одну ступень	59,3	88,7	74,2
« « в две ступени	66,4	90,2	61,0

Таблица 3

**Влияние циклов переработки газетной макулатуры
на физико-механические показатели макулатурной массы**

Показатель	Значение показателя для цикла регенерации					
	0*	1	2	3	4	5
Степень помола, °ШР	52	51	48	45	41	38
Средневзвешенная длина волокна, мм (аппарат Иванова)	1,06	1,11	1,19	1,22	1,25	1,25
Средняя арифметическая длина волокна, мм (анализатор Кажаани FS200)	...	1,253	...	1,248	...	1,220
Обезвоживаемость, с	98	82	68	60	51	49
Водоудерживающая способность, %	118	112	108	106	104	100
Разрывная длина, м (100 г/м ²)	–	3390	3280	3240	3150	3080
Белизна, %	50	50	51	51	52	52
Белизна после старения, %	–	49,4	49,8	49,8	50,6	50,6
Реверсия белизны, РС	–	0,91	1,76	1,84	1,89	2,03

*Образец получен облагораживанием макулатуры без сушки.

Для изучения влияния цикличности использования газетной макулатуры на показатели небеленой облагороженной макулатурной массы на листототливном аппарате готовили отливки с массой 1 м² – 100 г. Число циклов повторного использования принято 5. Перед каждым циклом отливки макулатурной массы замачивали в воде на 24 ч и распускали в дезинтергаторе.

Результаты исследований по влиянию цикличности переработки газетной макулатуры на физико-механические показатели макулатурной массы представлены в табл. 3 и на рис. 1–3.

Степень помола макулатурной массы (рис. 1) с увеличением циклов переработки снижается заметно, что связано, в первую очередь, с ороговением волокон в результате сушки, т. е. с повышением гидрофобности волокон и снижением их набухаемости. Эти же изменения волокон приводят к улучшению обезвоживаемости макулатурной массы.

С увеличением числа циклов переработки снижается водоудерживающая способность (ВУС) макулатурной массы (рис. 1), что также объясняется отрицательным влиянием ороговения волокон при сушке.

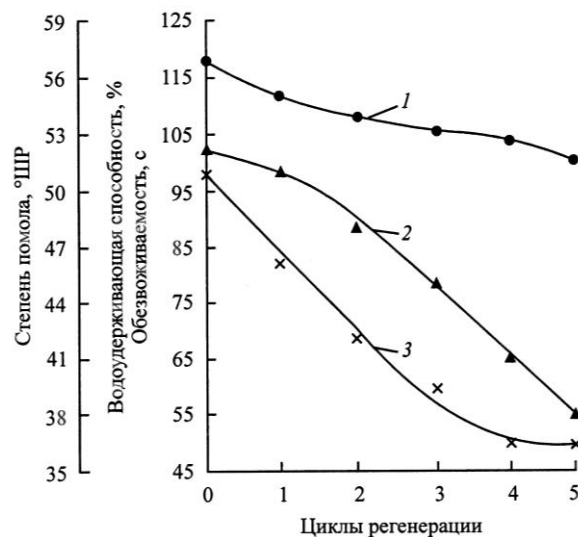


Рис. 1. Изменение водоудерживающей способности (1), степени помола (2) и обезвоживаемости (3) газетной макулатурной массы по циклам регенерации

В результате происходит усадка волокон, они сильно и равномерно сжимаются. Повторное набухание не приводит к восстановлению их первоначальных размеров. Пространства между микрофибриллами в клеточной стенке не полностью открываются при повторном роспуске, однако ВУС остается на достаточно высоком уровне. Это можно объяснить возрастающим количеством мелочи, которая способствует повышению ВУС за счет создания плотной прослойки, удерживающей воду и замедляющей процесс обезвоживания.

Изменение средневзвешенной длины волокна по циклам переработки определяли на анализаторе Kajaani FS200 и аппарате Иванова.

Метод определения фракционного состава и длины волокна на анализаторе Kajaani FS200 основан на лазерном сканировании водной волокнистой суспензии с высокой степенью разбавления, т. е. определяется длина каждого волокна. Несомненно, при многократной переработке макулатуры имеет место снижение средней длины волокна.

На рис. 2 приведено изменение фракционного состава газетной макулатурной массы по циклам регенерации, состав определен на анализаторе Kajaani FS200. Гистограммы показывают, что во всех циклах переработки макулатуры наибольшее количество волокон составляют волокна длиной 0,5...1,5 мм. Доля самой мелкой (1-й) фракции при циклическом использовании макулатуры несколько уменьшается, вероятно, вследствие провала мелкого волокна под сетку листоотливного аппарата в процессе изготовления отливок бумаги. При этом доля мелкой (2-й) фракции несколько возрастает за счет некоторого уменьшения 3-й и 4-й фракций, что связано с разрушением ороговевших при сушке волокон в процессе роспуска.

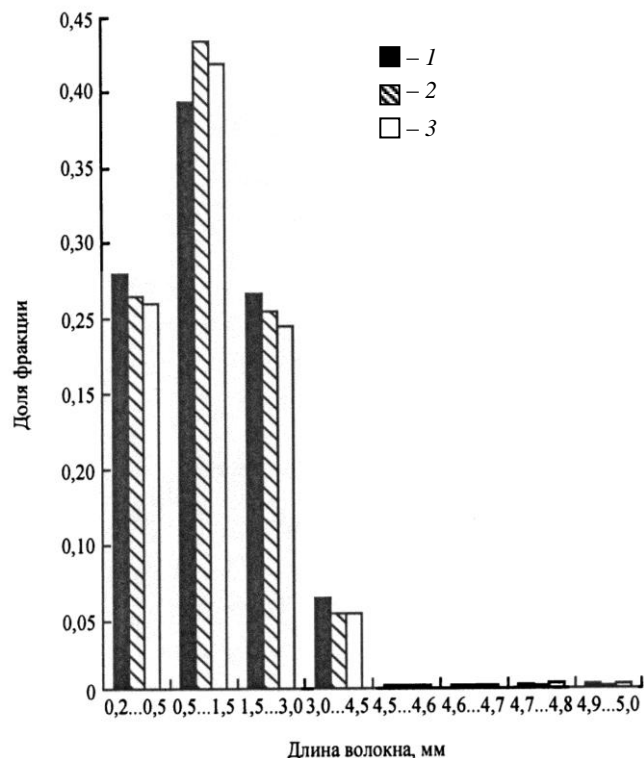
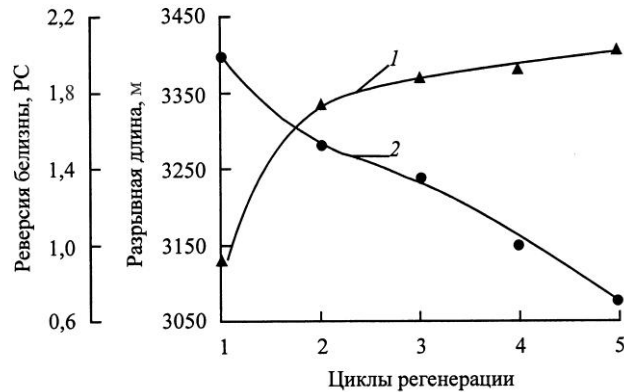


Рис. 2. Фракционный состав газетной макулатурной массы по циклам регенерации: 1 – после 1-го цикла; 2 – после 3-го цикла; 3 – после 5-го цикла

Рис. 3. Влияние цикличности использования макулатуры на показатели реверсии белизны (1) и механической прочности (2)



Показатель, определенный на аппарате Иванова, явно указывает на увеличение длины волокна с ростом цикла переработки, а определяемый на лазерном анализаторе – на некоторое уменьшение длины волокна при циклическом использовании макулатуры. Результаты определения длины волокна на аппарате Иванова косвенно подтверждают, что волокна в процессе сушки при каждом цикле переработки подвергаются ороговению и что при последующем замачивании и роспуске их гибкость полностью не восстанавливается. Этот аппарат предназначен для анализа первичных волокнистых полуфабрикатов и композиций из них, т. е. при анализе длины волокон макулатурной массы многократной переработки его применение, возможно, некорректно.

Из данных табл. 2 и рис. 3 также следует, что при циклическом использовании макулатуры происходит снижение показателя прочности (разрывной длины) с каждым последующим циклом. Объясняется это как некоторым ухудшением фракционного состава, так и более интенсивным повреждением при роспуске поверхности ороговевших в процессе сушки волокон, которое приводит к ослаблению образовавшихся межволоконных связей и уменьшению механического сцепления волокон.

При циклическом использовании макулатуры белизна несколько повышается, вероятно, за счет разрушения оставшейся типографской краски в процессе последующих роспусков и удаления мелких ее частичек с промывной водой. При повторном роспуске макулатурной массы и получении отливок бумаги оставшиеся частицы краски, возможно, уходят под сетку листоотливного аппарата.

Реверсия белизны по циклам переработки возрастает (рис. 3) вследствие отрицательного влияния сушки в каждом цикле на волокна макулатурной массы.

Таким образом, с увеличением числа циклов переработки газетной макулатуры происходит постепенное снижение всех физико-механических показателей макулатурной массы. Это связано с повреждением ороговевших при сушке волокон в процессе роспуска, что приводит к ослаблению межволоконных связей, уменьшению длины волокна, механического сцепления волокон и прочности облагороженной макулатурной массы.

Отбелка газетной макулатурной массы даже при значительном расходе пероксида водорода не позволяет существенно повысить белизну, вероятно, из-за недостаточного отделения типографской краски при флотации.

Поступила 07.12.09

F.Kh. Khakimova, T.N. Kovtun
Perm State Technical University

Influence of Processing Cycles on Recycled Newsprint Mass Properties

It is established that the increase of processing cycles results in lowering physico-mechanical properties of waste mass.

Keywords: newsprint wastepaper, defibring, floatation, processing cycles, recycled mass, physico-mechanical properties, hydrogen peroxide, brightness.

УДК 630*867.5

Н.И. Богданович¹, В.П. Короткий², В.И. Великанов³, Д.К. Носков³¹Северный (Арктический) федеральный университет²НТЦ «Химинвест»³Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 320 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.

Тел.: (8182) 21-89-46



Короткий Василий Павлович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. лесотехнический факультет, в 1981 г. инженерно-экономический факультет Ленинградской лесотехнической академии, почетный работник лесной промышленности, член-корреспондент МАНЭБ, директор НТЦ «Химинвест», научный руководитель инновационных проектов. Имеет более 50 печатных работ в области лесохимии, пиролиза древесины, получения активных древесных углей, угольных кормовых добавок, карбонизации, парогазовой активации, адсорбции.

E-mail: himinvest@sandy.ru



Великанов Валериан Иванович родился в 1947 г., окончил в 1975 г. Казанский ветеринарный институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии, фармакологии с токсикологией Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, академик Российской и международной академии аграрного образования. Имеет более 350 печатных работ в области радиационной биологии, фармакологии и токсикологии, иммунофармакологии, иммунотоксикологии.

Тел.: (8834) 66-94-81, 60-96-38



Носков Дмитрий Константинович родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Нижегородскую сельскохозяйственную академию, главный зоотехник племзавода им. Ленина филиала ООО «Агрофирма «Волготрансгаз», аспирант Нижегородской сельскохозяйственной академии. Имеет 1 печатную работу в области сельского хозяйства, животноводства, ветеринарии, терапии микотоксикозов сельскохозяйственных животных.

Тел.: (8834) 30-31-88, 78-67-96



ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНОЙ И МЕЛКОТОВАРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ЭНТЕРОСОРБЕНТЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТОДОМ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА КАРБОНИЗАЦИИ-АКТИВАЦИИ НА МОДУЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Обоснована необходимость введения энтеросорбентов в корма для животных; экспериментально доказана высокая эффективность использования в качестве энтеросорбентов активных углей, получаемых в совмещенном процессе пиролиза активации мягколиственной и некондиционной древесины.

Ключевые слова: заболевание животных, микотоксины, энтеросорбенты, активные угли древесные, пиролиз-активация древесного сырья.

В настоящее время одной из важнейших проблем ветеринарной медицины являются заболевания, вызванные микроскопическими грибами: микозы, микотоксикозы, аллергии. Рост заболеваемости животных «грибными» болезнями связан с иммунодепрессивными воздействиями современной техногенной цивилизации на организм животных. Загрязнение окружающей среды, повышение радиационного фона, использование в сельском хозяйстве пестицидов, удобрений, а в ветеринарии – иммунодепрессантов, цитостатиков, кортикостероидов и антибиотиков широкого спектра ослабляют естественные защитные механизмы организма животных и способствуют развитию заболеваний. Из природных экотоксикантов – загрязнителей сельскохозяйственного сырья и продуктов питания – наибольшую опасность для здоровья человека и животных представляют яды микроскопических грибов – микотоксины. Они обладают общетоксическими, цитотоксическими, мутагенными, эмбрионотоксическими, терато- и канцерогенными свойствами, являются сильными иммунодепрессантами, снижают резистентность организма, эффективность вакцинации, устойчивость к незаразным болезням. Степень распространения микотоксинов очень высока, они загрязняют продукты питания и корма, продовольственное сырье на всех этапах их производства, транспортировки, хранения и реализации.

Очевидную опасность микотоксинов на практике часто недооценивают, отсюда огромные потери, экономические затраты, иногда невозможные для предприятий. Потери складываются из огромных убытков в результате массовых заболеваний и падежа животных, снижения продуктивности, возникновения факторных инфекций, утилизации огромных количеств некондиционных кормов и т. д.

Важной проблемой для ветеринарной микотоксикологии является терапия микотоксикозов животных. Это связано с отсутствием эффективных специфических средств профилактики и лечения отравлений животных ядами микроскопических грибов, а также сложностью разработки антидотов. Для понижения чувствительности животных к действию микотоксинов им скармливают химические вещества, действующие как антидоты, а также зеленую массу или витамин Е, стимулирующие окислительные процессы и быстро выводящие микотоксины из организма. В последние годы все более широкое применение находят такие антидоты-сорбенты, как цеолиты, которые дают хорошие результаты при Т-2 токсикозе, афлато-, патулино- и фузариотоксикозе – энтеросорбент В, получаемый из вермикулита.

Давно известно о применении древесного угля в качестве добавки к корму животных [3, 4]. Активный уголь – высокодисперсный пористый материал с развитой удельной поверхностью и уникальной способностью поглощать значительные количества веществ различной химической природы из газовой, парообразной и жидкой сред. Введенный в пищевой рацион жи-

вотных активированный уголь энергично поглощает газы, образующиеся в пищеварительном тракте, уничтожает нежелательные процессы брожения, содействует правильному пищеварению и создает благоприятные условия для повышения массы животных. Помимо способности поглощать большие объемы газов, активированный уголь обладает свойством адсорбировать бактерии и тем самым препятствует распространению их в организме. Он также поглощает бактериальные яды и другие ядовитые вещества, попадающие в кишечник или образующиеся в нем.

На основании вышеизложенного особый интерес представляет использование активных древесных углей для производства активной угольной кормовой добавки для профилактики и лечения отравлений сельскохозяйственных животных микотоксинами и другими вредными веществами. Решение этой проблемы видится в создании малотоннажных производств и мобильных комплексов по производству активных древесных углей, работающих на местной сырьевой базе.

В разрабатываемом нами совмещенном процессе карбонизации-активации [1, 2, 5] можно получать активные древесные угли непосредственно из древесины мягколиственных пород, мелкотоварной и низкосортной, и на их основе вырабатывать активную угольную кормовую добавку, способствующую быстрому выведению токсинов из организма сельскохозяйственных животных и повышающую устойчивость их организма к неблагоприятному воздействию ухудшающейся экологической обстановки.

В лабораторных условиях были получены опытные образцы активного древесного угля из древесины различных пород (сосна, осина, береза, граб) и проведены исследования по определению параметров пористой структуры и адсорбционных свойств на соответствие требований ГОСТ 6217–74 (табл. 1).

Таблица 1

**Параметры пористой структуры и адсорбционные свойства
древесных активных углей из различных пород древесины**

Характеристики активных углей	Значение характеристик для угля из древесины			
	сосны	осины	березы	граба
Объем микропор, см ³ /г	0,24	0,23	0,23	0,26
Адсорбционная активность по йоду, %, не менее	70	65	75	100
Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г, не менее	280	250	300	300

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что данная технология обеспечивает получение активных углей с высокими сорбционными характеристиками.

В ФГУ «Федеральный центр токсикологической и радиационной безопасности животных» проведены исследования по выявлению потенциальной возможности применения активного древесного угля в животновод-

стве для защиты животных от воздействия токсических метаболитов микроскопических грибов (микотоксины и др. токсиканты) и получения экологически чистой, безопасной, конкурентоспособной продукции. В скрининговых исследованиях установлена безопасность активного угля для животных. Согласно ГОСТ 12.1.007.76, уголь относится к 4-му классу – вещества малоопасные, не обладает раздражающими, алергизирующими, кумулятивными свойствами. В исследуемых образцах угля содержание тяжелых металлов не превышает предельно допустимые нормы, пестициды, перитроиды и др. не обнаружены. Он не токсичен для инфузорий.

При длительном потреблении угля лабораторными животными (белые крысы) ежедневно в течение 30 сут в дозе до 6000 мг/кг не отмечалось ухудшения их состояния. Биохимические показатели (содержание в сыворотке крови общего белка, белковых фракций, глюкозы, триглицеридов, общего кальция, неорганического фосфора, мочевины и др., активность ферментов (аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, щелочная фосфатаза, креатинкиназа), гематологические показатели (количество эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, лейкограммы и др.), параметры неспецифической резистентности (активность лизоцима, фагоцитарная активность, фагоцитарное число, фагоцитарный индекс, фагоцитарная емкость и др.) изменялись незначительно и были в пределах физиологических норм. Применение угля положительно влияло на динамику прироста массы тела опытных животных. Исследования гистоструктуры органов опытных животных не выявили негативного действия угля.

Проведены исследования адсорбционной способности энтеросорбентов [6] в отношении Т-2 микотоксина *in vitro*. Выбор микотоксина обусловлен его чрезвычайно высокой токсичностью, а также тем, что он является наименее адсорбируемым микотоксином. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика сорбционной способности
испытываемых энтеросорбентов**

Номер образца	Сорбент	Адсорбция		Десорбция	Истинная сорбция
		pH 2	pH 7		
%					
1	Уголь + HCl; pH 4,5; фракция < 0,1 мм	89,0	89,0	–	89,0
2	Уголь + H ₂ O (1 : 4); pH 7,8; фракция < 0,1 мм	92,5	94,0	–	92,5
3	Уголь + глина + отруби (33 %; 33 %; 33 %)	83,5	83,0	–	83,5
4	Уголь + белая глина + отруби (50 %; 25 %; 25 %); pH 7,8	82,5	81,5	–	82,5
5	Уголь активированный, производство ОАО «Фарм- стандарт – Лексредства»	85,0	81,0	2,6	82,4
6	Микосорб	54,4	59,2	11,0	43,4

Установлено, что исследуемые энтеросорбенты показали отсутствие десорбции и стабильную высокую адсорбционную активность в отношении Т-2 микотоксина при температуре 37...39 °С *in vitro*, равную 82,5...92,5 %; колебания рН среды не влияют на степень адсорбции. Наибольшей сорбционной активностью обладает образец 2.

Проведено определение сорбирующей способности испытываемых энтеросорбентов на 110 белых нелинейных крысах, живой массой 150...170 г каждая, обоего пола, разделенных по принципу аналогов на контрольные и опытные группы по 10 голов в каждой. Первая группа служила биологическим контролем и получала соответствующее количество 5 %-го водно-спиртового раствора, не содержащего Т-2 микотоксин. Животным 2-...10-й групп внутрижелудочно вводили водно-спиртовый раствор Т-2 токсина в дозе 1/10 ЛД₅₀, после этого задавали энтеросорбенты в дозе 0,5 и 1,0 % к сухому веществу рациона: 2- и 3-й групп – образец 1; 3- и 4-й групп – образец 2; 5- и 6-й групп – образец 3; 7- и 8-й групп – образец 4; 9- и 10-й групп – уголь активированный (производство ОАО «Фармстандарт – Лексредства»), взятый в качестве препарата сравнения. Животным 11-й группы вводили аналогичное количество водно-спиртового раствора Т-2 токсина без последующей дачи энтеросорбента. На основании клинических, гематологических и биохимических данных установлено, что наибольшей эффективностью при подостром Т-2 микотоксикозе обладает образец 2, являющийся наиболее перспективным для дальнейших исследований.

Проведенные опыты показали, что активный древесный уголь в качестве кормовой добавки не оказывает негативного воздействия на организм животных и одноклеточных организмов, обладает высокой адсорбционной способностью к микотоксинам, защищает организмы при отравлении токсическими веществами.

На основании полученных данных проведены исследования по применению активной угольной кормовой добавки в кормах растительного происхождения на опытном стаде племязавода им. Ленина (Нижегородская обл., Ковернинский р-н) и получены следующие результаты:

при введении 4 кг активного древесного угля на 1 т зерносмеси у крупного рогатого скота снизилось количество абортных и мертворожденных на 10 %, у свиноматок – отход поросят из гнезда на 3 %;

телята, получавшие по 15 г угля в сутки, меньше (на 20 %) болели диспепсией и имели на 50 г сутки больше привеса, чем контрольная группа;

свиньи давали среднесуточный привес 340 г на дорастивании и 420 г на откорме, контроль – соответственно 320 и 400 г.

В качестве контроля применялась кормовая добавка Токсаут производства фирмы «Biomix» (USA), представляющая собой порошок светлорыжевого цвета с нейтральным запахом и содержащая следующие ингредиенты, %: силикат натрия и алюминия – 60; силикат кальция и алюминия – 25; диоксид кремния – 12; комплекс, оказывающий укрепляющее действие на иммунитет и состоящий из пребиотика, пробиотика и органических кислот – 3.

В отношении Т-2 токсина Токсаут обладает адсорбционной активностью 82,0...85,0 %, а активная угольная кормовая добавка – 92,5...93,0 %.

Результаты исследований по применению в производственных условиях разработанной нами кормовой добавки на основе активного древесного угля показали, что она более эффективна, чем импортная кормовая добавка Токсаут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданович Н.И.* Адсорбенты из отходов лесопромышленных предприятий для решения экологических проблем // Лесн. журн. – 1997. – № 4. – С. 92 – 96. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Богданович Н.И., Цапина С.А., Добеле Г.В.* Совмещенный процесс пиролиза – активации технических лигносульфонатов в среде водяного пара // Лесн. журн. – 1996. – № 6. – С. 101 – 110. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Древесный уголь: получение, свойства, применение / О.В. Бронзов [и др.]. – М., 1979. – 137 с.
4. *Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н.* Активные угли России. – М.: Metallurgy, 2000. – 352 с.
5. Формирование пористой и надмолекулярной структуры активных углей в совмещенном процессе пиролиза-активации технических лигнинов на Na-основании / Н.И. Богданович [и др.] // Лесн. журн. – 1998. – № 3. – С. 153–166. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Энтеросорбция / Под ред. Н.А. Белякова. – Л., 1991. – 336 с.

Поступила 21.04.10

N.I. Bogdanovich¹, V.P. Korotky², V.I. Velikanov³, D.K. Noskov³

¹Northern (Arctic) Federal University

²Scientific-and-technological centre “Khiminvest”

³Nizhny Novgorod State Agricultural Academy

Processing of Low-grade and Small Merchantable Wood into Enterosorbents for Agriculture by Method of Concurrent Process of Carbonation-activation on Modular Installations in Field Conditions

The necessity of introducing enterosorbents into fodder for animals is justified; efficiency of active coal use as enterosorbents produced in the concurrent process of pyrolysis-activation of soft-leaved and off-grade wood is proved experimentally.

Keywords: disease of animals, mycotoxins, enterosorbents, active charcoals, pyrolysis-activation of charcoal.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*182.59: 551.521

О.В. Малюта, Д.Е. Конаков, Е.А. Гончаров

Марийский государственный технический университет

Малюта Ольга Васильевна родилась в 1957 г., окончила в 1980 г. Кубанский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией биотестирования отходов и объектов окружающей среды ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Марийского государственного технического университета. Имеет 49 печатных работ в области экологического мониторинга и радиоэкологии.

E-mail: olgamal@list.ru



Конаков Дмитрий Евгеньевич родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Марийский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии Марийского государственного технического университета. Имеет 36 печатных работ в области химии и радиоэкологии.

E-mail: laker-k@yandex.ru



Гончаров Евгений Алексеевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Марийский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией радиационного контроля ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ. Имеет 30 печатных работ в области радиоэкологии.

E-mail: eagoncharov@mail.ru

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ***

Представлены результаты радиоэкологических исследований, проводимых лабораторией радиационного контроля МарГТУ на лесных территориях Среднего Поволжья, загрязненных техногенными радионуклидами. Раскрыты особенности накопления и перераспределения цезия-137 в компонентах лесных биогеоценозов. Предложены виды-биоиндикаторы радиационного загрязнения и новая минеральная добавка, снижающая поступление техногенных радионуклидов в лесные ресурсы.

Ключевые слова: радиоэкология, мониторинг, лес, биогеоценоз, цезий-137, биоиндикатор, реабилитация, мелиорант.

В Среднем Поволжье площадь лесных земель, загрязненных техногенными радионуклидами (Cs-137) свыше 1 Ки/км², по оценкам составляет около 200 тыс. га. Они расположены в основном на территориях Пензенской и Ульяновской областей и Республики Мордовия [4]. Данные террито-

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям.

рии относятся к зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом (плотность загрязнения почвы от 1 до 5 Ки/км²).

Большинство работ в области радиоэкологии леса относится к территориям с высокой плотностью загрязнения почвы. Однако не менее важной научной и практической задачей являются научные исследования на землях с минимальным загрязнением, в частности в Среднем Поволжье.

С 2001 г. лабораторией радиационного контроля Центра коллективного пользования Марийского государственного технического университета проводится радиоэкологический мониторинг лесных экосистем этого региона. Наличие современной приборной базы, а также привлечение специалистов различных областей знаний (лесное хозяйство, биология, химия, физика, природопользование, экология), позволяют выполнять комплексные исследования, используя значительный «арсенал» методов. На сегодняшний день совместно с региональными отделами радиологии ФГУ «Рослесозащиты» обследованы леса на территории Пензенской и Ульяновской областей, Мордовии: дана характеристика радиационной обстановки в лесных биогеоценозах и оценка качества лесных ресурсов; выполнены экологические и биоиндикационные исследования.

Так, например, показано, что максимальная концентрация Cs-137 в лесных почвах в настоящее время сохраняется в лесной подстилке и верхнем минеральном горизонте (табл. 1).

Несмотря на разнообразие почв, распределение Cs-137 по вертикальному профилю аналогично с явной тенденцией уменьшения концентрации с глубиной. В целом на миграцию радионуклидов существенно влияют гранулометрический состав, физико-химические свойства почвы, условия увлажнения, характер лесной подстилки и растительного опада. Перераспределение радионуклидов по почвенному профилю определяет интенсивность их поступления в лесную растительность.

Таблица 1

Вертикальная миграция Cs-137 в лесных почвах

Почва	Удельная активность Cs-137, Бк/кг, на глубине, см				
	0	0...10	10...20	20...30	30...40
Пензенская область					
Дерново-слабоподзолистая супесчаная	817,4	284,6	51,0	4,6	< 3,0
Серая лесная среднесуглинистая	454,4	218,5	15,4	< 3,0	< 3,0
Ульяновская область					
Дерново-слабоподзолистая супесчаная	1852,0	182,8	5,5	< 3,0	< 3,0
Дерновая легкосуглинистая	1258,0	287,4	61,9	13,2	< 3,0
Республика Мордовия					
Дерново-подзолистая супесчаная	159,4	11,2	5,2	< 3,0	< 3,0
Дерновая легкосуглинистая гидроморфная	428,1	28,5	18,0	10,6	4,3

Таблица 2

**Средние коэффициенты перехода Cs-137
в структурные элементы видов древесных растений**

Вид	Коэффициент перехода, $10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$				
	Корка, перидерма	Луб	Древесина	Ветви	Листья, хвоя
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	3,47	0,81	0,41	1,64	1,92
Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.)	3,16	1,17	0,79	1,85	1,89
Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	2,21	1,06	0,58	1,97	3,27
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Miller)	2,15	0,67	0,58	1,64	2,10
Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	1,19	0,60	0,43	1,93	3,15
Сосна обыкновенная (<i>Pinus silvestris</i> L.)	0,95	0,59	0,27	1,10	1,00

Примечание. Коэффициент перехода (transfer factor Tf) – отношение удельной активности радионуклидов в биологическом объекте, Бк/кг, к плотности загрязнения почвы, кБк/м²; при коэффициенте перехода $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ содержание Cs-137 в объекте (на воздушно-сухую массу) примерно равно его содержанию в почве.

В лесных экосистемах Среднего Поволжья наибольшее количество радионуклидов накапливают дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и клен остролистный (*Acer platanoides* L.). У всех видов минимум отмечен в древесине, что объясняется значительной долей менее загрязненных доаварийных годовичных слоев и динамическим характером накопления Cs-137 (пик смещается в сторону молодых годовичных слоев). Максимум радионуклидов у сосны и мелколиственных пород содержится в активно растущих органах (листья и молодые ветви), у широколиственных – в коре (корке), что объясняется сравнительно низкими темпами самоочищения от первоначального внешнего загрязнения (табл. 2).

Содержание радионуклидов в древесине основных лесообразующих пород не превышает допустимых уровней (ДУ) даже при максимальном загрязнении данной зоны ($5 \text{ Ки}/\text{км}^2$ или $185 \text{ кБк}/\text{м}^2$) и делает возможным ее использование для производственных и хозяйственных целей (по СП 2.6.1.759-99 ДУ для древесины, используемой в жилом строительстве, составляет 370 Бк/кг).

Накопление техногенных радионуклидов в живом напочвенном покрове лесных экосистем варьирует в широких пределах, но в хозяйственно полезных и лекарственных растениях их количество, как правило, не превышает допустимых уровней. Исключение составляют некоторые виды мхов (кукушкин лен *Polytrichum commune* Hedw., дикранум метловидный *Dicranum scoparium* Hedw., мхи рода сфагнум *Sphagnum* sp. L.), папоротников

(щитовник мужской *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott. и орляк обыкновенный *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.) и покрытосеменных растений (черника *Vaccinium myrtillus* L., брусника *V. vitis-idaea* L., костяника *Rubus saxatilis* L., ландыш майский *Convallaria majalis* L., багульник болотный *Ledum palustre* L., чистотел большой *Chelidonium majus* L.), приуроченных к переувлажненным и бедным эдафотопам.

Особым компонентом лесного биоценоза, представляющим потенциальную опасность для населения, являются грибы. По накопительной способности Cs-137 они в среднем в 20 раз превосходят максимально загрязненный слой лесной подстилки и почти в 1000 раз – древесину [6]. Так, на загрязненных территориях Республики Мордовии и Пензенской области ДУ значительного числа воздушно-сухих проб грибов (белый *Boletus edulis* Fr., горькушка *Lactarius rufus* Fr., рыжик *L. deliciosus* S.F. Gray, сыроежки *Russula* sp. Fr., масленок *Suillus luteus* Fr.) превышали нормативы в 3–9 раз (по СанПиН 2.3.2.1078-01 ДУ Cs-137 в сухих грибах составляет 2500 Бк/кг) [5]. Основными факторами, определяющими накопление радионуклидов, являются видовая принадлежность грибов (тип питания и распределение мицелия в почвенных горизонтах), крайняя неравномерность загрязнения почвы, почвенные условия и влажность сезона.

Проведенные исследования позволили оценить биоиндикационную ценность видов живого напочвенного покрова и составить таблицу видов-биоиндикаторов (по аккумуляции) для различных типов лесорастительных условий (табл. 3), контроль за которыми целесообразно осуществлять при радиационном мониторинге лесных территорий [3].

На территориях, загрязненных радионуклидами, для получения экологически чистой и радиационно безопасной продукции пчеловодства целесообразно использовать растения-медоносы, отличающиеся незначительным накоплением радиоактивных веществ. В целях определения растений, дискриминирующих техногенные радионуклиды, были отобраны виды, распространенные в районах пасек и традиционные для обследованных территорий. Наиболее «чистыми» медоносами оказались донник желтый (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) и эспарцет посевной (*Onobrychis viciaefolia* Scop.), самым накапливающим – синяк обыкновенный (*Echium vulgare* L.).

Результаты радиоэкологических исследований, а также производственный опыт показали, что после включения основных дозообразующих радионуклидов (Cs-137) в биологический круговорот веществ радиационная обстановка на загрязненных территориях изменяется очень медленно. Самоочищение лесов происходит практически только за счет радиоактивного распада. Этот процесс длится многие годы, в течение которых лесной фонд будет представлять территорию радиационной опасности [2, 4]. Однако, применяя комплекс реабилитационных мер, экологическую ситуацию на данных территориях можно улучшить, например, используя почвенные мелиоранты, способные снижать миграцию радионуклидов в системе почва – растение.

Таблица 3

**Виды-индикаторы радиационного загрязнения
для различных типов лесорастительных условий**

Тип лесорастительных условий	Вид-индикатор	Коэффициент перехода, $10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$
A ₂	Дикран волнистый (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	12,5
	Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i> L.)	22,5
	Щитовник мужской (<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott.)	62,1
B ₂	Кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	25,5
	Щитовник мужской	31,6
	Чистотел большой (<i>Chelidonium majus</i> L.)	35,8
	Масленок обыкновенный (<i>Suillus luteus</i> Fr.)	538,3
B ₄	Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	81,7
	Кукушкин лен	100,8
	Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.)	209,7
	Горькушка (<i>Lactarius rufus</i> Fr.)	950,7
C ₃	Щитовник мужской	32,1
	Кукушкин лен	50,2
D ₂	Копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i> L.)	2,4
	Масленок обыкновенный	12,1
D ₅	Щитовник мужской	6,2
	Страусник обыкновенный (<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod.)	13,3

Исследовательской группой лаборатории радиационного контроля МарГТУ была испытана в лабораторных и полевых условиях минеральная добавка на основе берлинской лазури и хлорида калия. Новый почвенный мелиорант снижает интенсивность миграции Cs-137 на всех исследованных типах почв (табл. 4). К тому же он оказался в 2-3 раза эффективнее традиционно применяемых калийно-фосфорных удобрений и не оказывает угнетающего действия на рост растений и биологическую активность почвы [1].

В настоящее время ведутся исследования сорбционных свойств композиций, полученных на основе компостирования отходов переработки древесины (действующие вещества – лигнин и целлюлоза) и пищевой промышленности (действующие вещества – хитозаны и пектины).

Таблица 4

**Влияние минеральных добавок на накопление Cs-137
тестируемыми растениями (горох *Pisum sativum* L., сорт Немчиновский,
и овес *Avena sativa* L., сорт Московский)**

Минеральная добавка	Содержание Cs-137, % от контроля					
	Светло-серая лесная легко- суглинистая почва		Дерново- карбонатная среднесугли- нистая почва		Дерново- подзолистая супесчаная почва	
	Горох	Овес	Горох	Овес	Горох	Овес
KCl (250 кг/га) + суперфосфат (250 кг/га)	76,9	21,8	19,5	71,4	86,1	82,6
KCl (500 кг/га) + Na ₂ SiO ₃ (250 кг/га)	22,7	68,1	15,3	116,3	49,7	59,6
KCl (500 кг/га) + Na ₂ SiO ₃ (250 кг/га) + суперфосфат (500 кг/га)	135,4	28,6	33,3	90,6	91,3	134,5
KCl (500 кг/га) + берлинская лазурь (120 кг/га)	103,8	25,3	25,3	114,1	70,5	96,0
KCl (500 кг/га) + берлинская лазурь (380 кг/га)	2,4	7,8	12,6	3,7	27,6	7,9
берлинская лазурь (120 кг/га) + Na ₂ SiO ₃ (250 кг/га)	5,6	28,6	26,4	70,9	86,1	80,9
берлинская лазурь (120 кг/га)	24,3	71,8	20,9	67,7	122,5	145,3
НСП ₀₅	39,6	23,5	19,4	22,5	23,1	47,4

Таким образом, научные исследования лесных экосистем Среднего Поволжья вносят свой вклад в решение задачи о накоплении и перераспределении радионуклидов на территориях с минимальным загрязнением, а также их реабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конаков Д.Е., Малюта О.В., Романов Е.М. К вопросу о влиянии минеральных добавок на подвижность техногенных радионуклидов в системе «почва – растение» // Проблемы радиоэкологии леса. Лес. Человек. Чернобыль: сб. тр. ИЛ НАН Беларуси. – 2004. – Вып. 61. – С. 55–58.
2. Криволицкий Д.А. Проблемы устойчивого развития и экологическая индикация земель радиоактивного загрязнения // Экология. – 2000. – № 4. – С. 257–262.
3. Малюта О.В., Гончаров Е.А. Биоиндикация в условиях радиоактивного загрязнения // Вестн. МарГТУ. – 2008. – № 1. – С. 80–84.
4. Марадудин И.И., Панфилов А.В., Шубин В.А. Основы прикладной радиоэкологии леса. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 224 с.
5. Оценка качества ресурсов лесопользования на радиационно-загрязненных территориях / Е.М. Романов [и др.] // Лесн. хоз-во. – 2006. – № 4. – С. 28–30.
6. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. – М.: Наука, 1999. – 268 с.

Поступила 24.08.09

O.V. Malyuta, D.E. Konakov, E.A. Goncharov
Mari State Technical University

Radioecological Studies of Forest Ecosystems in Middle Povolzhje

The data of radioecological studies are provided carried out by the laboratory of radiation control of MarSTU on the forest territories of the Middle Povolzhje polluted by anthropogenic radionuclides . The peculiarities of cesium-137 accumulation and redistribution in the forest biogeocenosis components are revealed. The species-bioindicators of radiation pollution and new mineral additive reducing the inflow of anthropogenic radionuclides to forest resources are offered.

Keywords: radioecology, monitoring, forest, biocenosis, cesium-137, bioindicator, rehabilitation, meliorant.

УДК 621.36

А.Ю. Неделько

ОАО НПП «Эталон»

ЗАМЕНА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ БЕСКОНТАКТНЫМИ ИК-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Предложен альтернативный способ контроля температуры, позволяющий сократить затраты на замену изношенных термоэлектрических преобразователей.

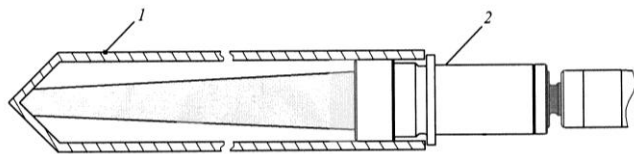
Ключевые слова: ИК-преобразователи, пирометр, контроль температуры.

Вопросы надежности, точности и инерционности средств контроля температуры процессов, протекающих в теплогенерирующих и теплоиспользующих установках, а также в технологических аппаратах предприятий лесопромышленного комплекса имеют большое практическое значение.

Термоэлектрические преобразователи получили широкое распространение практически во всех отраслях производства. Простота устройств и высокая точность измерений и по настоящее время обеспечивают им преимущество по сравнению с другими методами измерения температуры. Там, где их использование затруднено или невозможно в силу ряда причин (движение объекта измерений, слишком высокая температура, высокое напряжение и т.п.), применяют бесконтактные средства измерений – пирометры. Однако некоторые недостатки бесконтактного метода не позволяют ему вытеснить контактный.

Неизвестный в большинстве случаев коэффициент излучения объекта измерений требует тщательной настройки пирометра. У реальных объектов он меньше единицы, определяется материалом и качеством поверхности и является функцией температуры, угла наблюдения и длины волны. Точное определение этого коэффициента затруднено из-за большого количества влияющих факторов (наличие дыма, водяного пара и пыли между пирометром и объектом и др.).

Рис. 1. Схема ИК-преобразователя: 1 – чехол; 2 – приемник ИК-излучения



Цель нашей работы – объединить оба способа (контактный и бесконтактный), чтобы избежать ограничений, накладываемых неопределенным коэффициентом излучения. Для этого в среду, температуру которой необходимо измерять, помещают трубу, заглушенную со стороны среды (чехол), а пирометр визируют с открытого конца чехла на дно получившейся полости. Если отношение глубины полости к ее диаметру

достаточно велико, то она обретает свойства черного тела и ее коэффициент излучения можно считать равным единице. Схема подобного ИК-преобразователя приведена на рис. 1.

Достоинства такого ИК-преобразователя заключаются в следующем:

в случае износа замене подлежит только чехол, стоимость которого существенно ниже стоимости термоэлектрических датчиков;

инерционность преобразователя существенно ниже традиционных датчиков, так как чехол пустой;

при проведении очередной поверки нет необходимости демонтировать чехол, достаточно отсоединить приемник ИК-излучения от чехла и поверить прибор непосредственно как пирометр, что особенно важно в случае, когда объект нежелательно разгерметизировать, внутри находятся ядовитые вещества и др.;

так как преобразователь не содержит драгоценных металлов, он не будет служить объектом хищения.

Создать такой преобразователь можно на базе практически любого пирометра, обеспечив его соответствующим приспособлением для визирования. Однако зачастую вблизи объекта контроля присутствуют нежелательные для электронных устройств факторы – высокая температура воздуха, выбросы пламени, вибрация и т.п. Поэтому при разработке ИК-преобразователя необходимо учитывать условия эксплуатации.

С учетом вышеизложенного на ОАО НПП «Эталон» был разработан и изготовлен ИК-преобразователь в виде заглушенного термопарного чехла с присоединенным к нему приемником ИК-излучения (рис. 2). Приемник ИК-излучения соединен с пирометром высокотемпературным армированным оптоволоконным кабелем, позволяющим устанавливать электронную часть прибора на безопасном расстоянии от объекта контроля. Поток излучения передается по оптоволокну к цифровому измерительному блоку, где преобразуется в электрический сигнал и оцифровывается для последующей обработки.

Рис. 2. ИК-преобразователь для пирометра ПД-7



Рис. 3. Пирометр ПД-5 с ИК-преобразователем

Таким образом исключается перегрев и выход из строя чувствительного элемента и электроники. Преобразователь можно использовать совместно с пирометрами ПД-6 или ПД-7, которые производят на ОАО НПП «Эталон».

В ходе испытаний на реальных объектах были получены хорошие результаты. При проведении измерений температуры расплавов металлов и солей инерционность ИК-преобразователя была на порядок меньше, чем у штатной термопары, по показаниям которой осуществляется регулирование температуры. Отставание показаний термопары от показаний ИК-преобразователя в процессе нагрева/остывания расплава достигало порядка 20 °С, что не лучшим образом сказывалось на технологическом процессе. При измерении температуры нагретых газов разница в инерционности меньше, так как теплоемкость и теплопроводность газа значительно ниже, чем жидкости.

Пирометры ПД-6 и ПД-7 достаточно сложны и имеют избыточные функции, если их используют вместе с ИК-преобразователем. Продолжением развития данного направления стал пирометр ПД-5 (рис. 3), имеющий литой пылевлагозащищенный корпус с отверстиями для крепления, который работает при температуре окружающей среды от –30 до +50 °С. Приемник ИК-излучения выдерживает температуру окружающей среды до +200 °С. Диапазон измеряемых температур – от 400 до 1400 °С, погрешность измерений – 0,5 %. В конструкцию ИК-преобразователя были внесены небольшие изменения. Между чехлом и приемником ИК-излучения устанавливается теплоизолирующий переходник со штуцером для подвода воздуха, что позволяет осуществлять продувку переходника охлаждающим воздухом и предотвращать перегрев приемника. Шайба на переходнике служит защитным экраном от теплового излучения и выбросов пламени. Испытания показали, что при температуре внутри печи 1000 °С и температуре окружающего воздуха до 70 °С не происходит перегрева приемника, поэтому продувка воздухом не требуется.

На рис. 4 изображены органы управления и индикации, разъем для подключения внешних цепей пирометра ПД-5. Индикатор 1 съемный, что позволяет использовать его для настройки нескольких приборов по очереди. Если в индикации нет необходимости, индикатор в прибор не устанавливается, что позволяет несколько снизить стоимость пирометра.

В пирометре ПД-5 реализована схема имитации термопарного выхода. Температура, измеренная с помощью ИК-преобразователя, пересчитывается в значение термо-ЭДС для любого из 13 типов термопар, и напряжение соответствующей амплитуды выдается на контакты разъема 2.

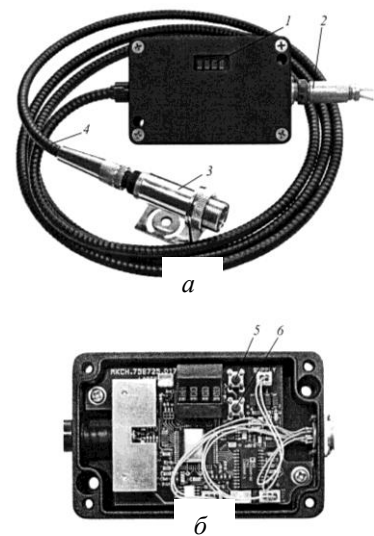


Рис. 4. Общий вид (а) и система управления и индикации (б) пирометра ПД-5: 1 – индикатор; 2 – разъем; 3 – приемник ИК-излучения; 4 – оптоволоконный кабель; 5 – кнопка управления «+»; 6 – кнопка управления «->»

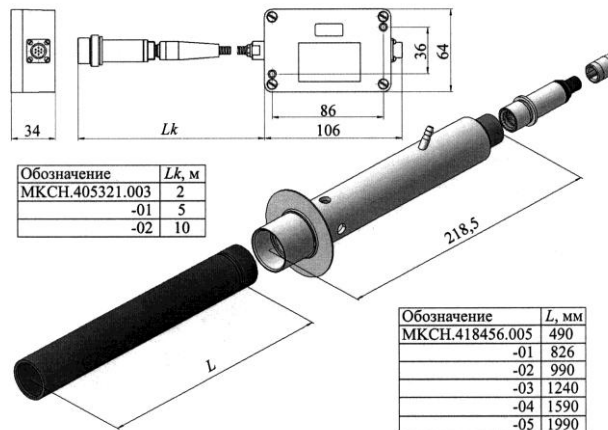


Рис. 5. Габаритные и присоединительные размеры пирометра ПД-5 с ИК-преобразователем

При замене штатной термопары на ИК-преобразователь нет необходимости заменять существующую систему контроля/регулирования, можно подключить пирометр к имеющемуся оборудованию. Пирометр ПД-5 имеет настраиваемый токовый выход (0...5, 0...20, 4...20 мА) и ключ двухпозиционного регулирования. Ключ может управлять внешним твердотельным реле, с помощью которого можно осуществлять регулирование температуры или, например, отключать горелку котла при перегреве и т.п.

Схема сборки ИК-преобразователя, габаритные и присоединительные размеры приведены на рис. 5. В зависимости от условий применения длину чехла и оптоволоконного кабеля можно выбрать, используя данные, приведенные на рис. 5.

A.Yu. Nedelko

JSC Research-industrial Enterprise «Etalon»

Replacement of Thermoelectric Transducers by Noncontact Infrared Transducers

The alternative way of temperature control is suggested allowing to reduce costs of replacement of worn-out thermoelectric transducers.

Keywords: IR transducers, thermometer, temperature control.

УДК 674.032.13

Ю.А. Варфоломеев

Северный (Арктический) федеральный университет

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационному развитию Северного (Арктического) федерального университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.

E-mail: y.varfolomeev@narfu.ru



МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРЕРАБОТКИ ЕЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ С БИОПОВРЕЖДЕНИЯМИ

Дана оценка усыхающих еловых древостоев в Архангельской области; обоснована необходимость строительства лесных дорог в пораженных древостоях и проведения исследований по разработке эффективных путей их переработки; предложено создать на базе С(А)ФУ национальный технопарк.

Ключевые слова: усыхающие леса, биоповреждения, лесные дороги, лесозаготовка, переработка, национальный технопарк, модернизация.

На территории Архангельской области расположена четверть запасов возобновляемых лесных ресурсов Северо-Запада России, причем более 70 % приходится на ценные хвойные породы. Однако расчетная лесосека в 22,4 млн м³ используется лишь наполовину, например, в 2005 г. – только на 47 %. В Архангельской области традиционно производится около 10 % объема деловой древесины страны, треть целлюлозы, четверть картона и 11 % экспортируемых пиломатериалов.

Лесные ресурсы, в отличие от минеральных, могут быть быстро утрачены в результате крупных пожаров, что и случилось в засушливое лето 2010 г., либо экологических катастроф. К экологической катастрофе, например, относится усыхание и тотальное повреждение энтомологическими вредителями ценных хвойных лесов Севера. Коренные изменения структуры лесов могут кардинально повлиять на климат и экологию нашего региона. Хвойный лес площадью 1 га ежегодно депонирует 1,1 т углекислого газа, являющегося главным «виновником» образования парникового эффекта на планете, которым объясняют аномальное изменение (потепление) климата в последние годы, и выделяет в среднем 30 т кислорода. В климатических условиях Архангельской области 1 м³ иголок хвойного леса ежегодно продуцирует 0,81 кг кислорода.

В сухостойных лесных массивах многократно возрастает опасность пожаров. При лесных пожарах либо медленном гниении древостоев в атмосферу выделяется большое количество тепла и углекислого газа, что активизирует парниковый эффект, влекущий за собой погодные аномалии. Следует отметить, что при горении древесины выделяется столько же продуктов распада, как и при гниении, но продолжительность этих процессов разная.

Причины нерационального использования возобновляемых природных ресурсов в Архангельской области те же, что и в других малонаселенных регионах России. Из-за многолетних сплошных рубок хвойные лесные массивы вблизи транспортных путей исчерпаны [1, 5–7]. Если лесопользование проводить без восстановительных посадок хвойных пород древесины, то вырубленные леса заместит прирост менее ценных мягколиственных пород.

Треть расчетной лесосеки Архангельской области находится в труднодоступных лесах, где полностью отсутствует дорожная сеть, поэтому лесная отрасль региона работает по полному циклу лишь 7–8 месяцев в году и имеет статус сезонного производства [3, 6, 7]. В скандинавских странах, благополучно развивающихся за счет лесной промышленности, протяженность автодорожной сети на 100 га леса составляет 1 км, в Архангельской области – 130 м, в том числе дорог круглогодочного действия (ДКД) – 74 м. При сроке окупаемости 5 лет стоимость 1 км магистрали с твердым покрытием составляет до 5,0 млн р., ветки – 2,0 ... 2,5 млн р. Такие расходы не под силу большинству леспромпхозов, поэтому в Архангельской области ежегодно вводится в эксплуатацию всего лишь 50...60 км ДКД. Государство, как собственник леса, должно принять участие в важном и перспективном деле строительства в неосвоенных лесах новых дорог противопожарного и технологического назначения. Для этого необходимы эффективные и гарантированные инвестиции в развитие транспортной инфраструктуры лесного комплекса. Область и региональный бизнес должны принять участие в софинансировании этого проекта.

Более 70 % древесины в нетронутых массивах – спелые и перестойные леса, которые надо срочно вырубать и перерабатывать. Хроническое недоосвоение расчетной лесосеки приводит к тому, что перестойный лес гниет на корню. В неосвоенных лесах междуречья Северной Двины и Пинеги сосредоточено 0,5 млрд м³ древесины (20...25 % общего запаса Архангельской области). Здесь началось массовое усыхание и биопоражение старовозрастных еловых массивов. Начало усыхания связывают с жарким и засушливым летом 1997 г. Развитию этого процесса способствовал снеголом вершин елей в зимние периоды 2001–2003 гг. Резкое ослабление насаждений привело к вспышке массового размножения стволовых вредителей – короеда-типографа, черных еловых усачей, полосатого древесинника. По мере высыхания древесины ее биологическая деструкция усиливалась активной деятельностью дереворазрушающих грибов [4, 6]: еловой губки, окаймленного трутовика, елового комлевого трутовика.

Технико-экономический анализ деятельности лесозаготовительных предприятий в зоне усыхания лесов показал, что доля деловой древесины, особенно сырья, пригодного для производства пиломатериалов, быстро сокращается [2]. Это ставит на грань выживания экспортное лесопиление, работающее исключительно на хвойном пиловочнике, что влечет большие социально-экономические проблемы для населения области [1]. Под установленные мощности Архангельской области требуется около 14,0 млн м³ деловой древесины. На ее территории производится 10,0 млн м³ и из соседних регионов ежегодно завозится 2,5 млн м³. Из-за недопоставки 1,5 млн м³ сырья лесоперерабатывающие предприятия систематически простаивают.

До сих пор в лесозаготовительной промышленности используют неэффективные технологии, ручной труд на операциях валки и раскряжевки древесины. Это приводит к многомиллионным убыткам, банкротству предприятий, социальной незащищенности работников и закрытию лесных поселков. Высокопроизводительные импортные комплексы для сортиментной заготовки древесины, не имеющие аналогов в отечественном машиностроении, стоят очень дорого (харвейстер с форвардером стоят около 20 млн р.), поэтому их могут приобрести только крупные предприятия. При этом более 30 % указанной стоимости составляют пошлины и налоги. В связи с этим обновление лесозаготовительной техники происходит медленно. Решению этой серьезной проблемы способно помочь создание на территории России заводов по сборке такой техники из импортных комплектующих, что позволит значительно снизить таможенные пошлины. В данной ситуации очень уместна отмена таможенных пошлин с импортного оборудования и техники, не имеющих аналогов в России, а также комплектующих изделий к ним.

Системный анализ состояния дел в лесной отрасли Архангельской области показал, что на первом месте стоит модернизация существующих производств лесопромышленного комплекса с использованием передового зарубежного опыта и международной кооперации. Большинство предприятий лесопромышленного комплекса кардинально не обновляли оборудование и технологии более 30 лет. Физический износ их основных фондов превышает 50 %.

Архангельский центр лесопереработки, сформированный 70 лет назад, производит пиломатериалы и целлюлозу, однако они являются полуфабрикатами для производства товаров с высокой добавленной стоимостью, которая остается за рубежом. Около 80 % продукции лесопромышленного комплекса Архангельской области экспортируется. Для повышения конкурентоспособности лесных товаров на внутреннем и внешнем рынках остро необходимы новые лесоперерабатывающие производства. Однако активизировать процесс их создания не просто, поскольку многие северные предприятия перешли к собственникам из других регионов. Поэтому работы в этом направлении ведутся медленно.

Лесозаготовители по экономическим соображениям в первую очередь осваивают делянки, наименее пострадавшие от биоповреждения, ориентируясь на максимальный выход экспортного пиловочника согласно ГОСТ 9463–88 «Лесоматериалы круглые хвойных пород». Лесозаготовители, обходя сухостойные участки, приближаются к участкам леса, где наложен мораторий на любую деятельность по решению экологов. Следует отметить, что при выборе заповедных территорий не было предусмотрено быстрое освоение близлежащих лесных массивов. Эти территории не компакты, могут иметь вытянутую форму (далеки от оптимальной формы круга). Сейчас лесозаготовители сталкиваются с проблемами прокладки дополнительных дорог для обхода заповедных участков по неблагоприятной заболоченной местности с многочисленными пересечениями различных водных преград. Содержание заповедных территорий обходится очень дорого.

С учетом того, что сохранение девственных лесов осуществляется в интересах всего человечества, целесообразно привлекать к реализации этого проекта финансовые возможности международных экологических фондов. При отсутствии такой финансовой поддержки не исключается вероятность пересмотра границ заповедных районов.

Целлюлозно-бумажные комбинаты Архангельской области не могут переработать все балансовое сырье из усыхающих лесов. Результаты натурных обследований хлыстов, заготовленных на участках усыхающих древостоев, которые были арендованы ОАО «Двинлес», свидетельствуют о том, что полностью в коре были 24,7 %, с корой на половине поверхности – 20,7 %, полностью без коры – 54,6 % [2]. Плотность сухостойной ели в среднем составляет 358 кг/м³. При цепной окорке балансов, практикуемой, например, на Соломбальском ЦБК, с поверхности удаляется в отходы толстый слой не коры, а древесины. По результатам анализа влияния сухостойного сырья на производственную деятельность Соломбальского ЦБК, выполнявшегося лабораторией защиты древесины ЦНИИМОД в 2005-2006 гг., отходы на указанной технологической операции составляли не менее 3,5 %. При рубке балансов на технологическую щепу было зафиксировано увеличение на 5,0 % отсева и мелкой фракции щепы (спичек). Разлетание спичек при рубке щепы существенно повысило опасность травматизма обслуживающего персонала рубительной машины. Следует отметить, что степень деструкции биоповрежденной древесины в 2005-2006 гг. была гораздо ниже, чем в настоящее время. С увеличением периода между усыханием и переработкой сухостойной древесины количество отходов неизбежно растет.

Усыхающая на корню ель меняет свои свойства по сравнению со свежей. Эти изменения тем значительнее, чем дольше древесина подвергается воздействию внешних факторов окружающей среды, в том числе дереворастворяющих и дереворазрушающих грибов. При этом из нее улетучиваются смоляные и жирные кислоты, терпены, уменьшается содержание пентозанов, повышается содержание веществ, растворимых в щелочи и горячей воде. В результате гидролитических процессов происходит образование кислых продуктов, снижение рН экстракта древесины до 3,8...4,6. По указанной причине на Соломбальском ЦБК было зафиксировано увеличение расхода белого щелока на нейтрализацию кислого экстракта щепы на 11 %. Только за счет снижения удельной плотности древесины и меньшей загрузки котлов в 2005 г. на Соломбальском ЦБК на 5,0 % снизилась производительность варочных установок.

Переработка сухостойной древесины существенно влияет на технико-экономические показатели производства целлюлозы. Исследования, проведенные в лабораторных и производственных условиях, показали, что при подготовке щепы возникают следующие технологические проблемы: увеличиваются доля крупной фракции щепы и количество отходов, сминаются кромки щепы, появляется необходимость часто менять быстро затупляющиеся ножи рубительных машин. Поэтому для переработки сухостойной древесины требуется кардинальная модернизация этого производства за счет использования современного высокопроизводительного оборудования.

При варке целлюлозы из сухостойной древесины повышается доля непровара, резко снижается выход сульфатного мыла из щелока после варки. Анализ потерь этого ценного продукта в процессе варки щепы из сухостойной древесины на Соломбальском ЦБК показал снижение на 15 % выработки сырого таллового масла. Щепа из сухостойной древесины пропитывается неравномерно. В случае значительного повреждения деревоокрашивающими грибами скорость пропитки древесины значительно возрастает.

Изменение физико-механических показателей сухостойной древесины [4, 6] приводит к снижению спроса на рынке строительных материалов на целлюлозу, как заменитель экологически опасных канцерогенных волокон из асбеста. Сокращение длины целлюлозных волокон из сухостойной древесины на 0,40...0,90 мм ниже минимально допустимого базового значения 2,55 мм. Кроме того, традиционные зарубежные покупатели целлюлозы, произведенной из сухостойной древесины на Соломбальском ЦБК, зафиксировали снижение белизны товарной целлюлозы от 28 до 24 %. Коммерческая оценка перечисленных факторов требует дополнительного изучения.

Усыхание лесов происходит не только в России, но и в Германии, Польше, Белоруссии и других странах. Необходимо интенсифицировать работу по поиску перспективных направлений эффективного использования ресурсов сухостойной древесины. В первую очередь целесообразно исследовать возможность ее применения в деревянном домостроении при условии использования экологически безопасных химических средств и технологий защитной обработки для обеспечения требуемого уровня долговечности [4, 6, 7]. Следует отметить, что активная реализация национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» особенно актуальна для Архангельской области. Для снижения себестоимости продукции строительного назначения целесообразно производство максимально приблизить к районам заготовки древесины. В этих условиях большую перспективу имеют современные высокопроизводительные заводские модули с малой численностью обслуживающего персонала. Нужна система льготного кредитования при их возведении.

В Архангельской области высокая стоимость электроэнергии. Например, для промышленных потребителей с 1 января 2010 г. компания «Беломорэнерго» отпускает 1 кВт·ч электроэнергии по 5,61 р., а Архангельская сбытовая компания – по 2,93...4,65 р. В настоящее время в области ежегодно образуется около 4 млн м³ древесных отходов, из которых рационально используется только 1 млн м³. В связи с увеличением объемов низкокачественной древесины количество отходов будет возрастать. Необходимо решить проблему подготовки и сжигания древесных отходов по современным эффективным технологиям производства энергии. Это позволит заменить дорогостоящие уголь и мазут, которые в больших количествах поставляют для котельных в лесные районы по государственной программе северного завоза грузов. Необходимо срочно переоборудовать котельные на использование древесного топлива. В будущем это позволит экономить и газ, подводимый по газопроводу Ньюсеница – Архангельск.

Усыхание огромных массивов ценных еловых лесов в Архангельской области – это первый прецедент в нашей стране. Поэтому необходимы масштабные научные исследования в сочетании с интенсивным промышленным освоением поврежденной древесины при использовании современных технологий, которые будут востребованы по всей стране.

Учитывая наличие в Архангельской области сырьевого, технического и кадрового потенциала лесопромышленного комплекса целесообразно создать на базе Северного (Арктического) федерального университета национальный технопарк, ориентированный на апробацию и распространение передовых технологий заготовки и переработки древесины с целью повысить конкурентоспособность лесных товаров. Организация такого технопарка по международным стандартам с наделянием льготами по аналогии с проектом, реализуемым в Сколково, обеспечит активизацию работ по модернизации лесного комплекса всей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.Ф. Социально-экономические последствия биопоражения и усыхания лесов в междуречье Северной Двины и Пинеги / А.Ф. Булатов, Ю.А. Варфоломеев, Ю.Г. Трубин // Наука – северному региону: Сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2005. – Вып. 62. – С. 224–227.

2. Варфоломеев Ю.А., Баева Е.М. Выход сортиментов при раскряжке сырья из района усыхания еловых лесов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2006. – Вып. 64. – С. 18–23.

3. Варфоломеев Ю.А., Давитиашивили А.Ш., Пьянков И.В. Анализ деятельности лесозаготовительного предприятия в зоне усыхания лесов Архангельской области // Лесн. журн. – 2005. – № 6. – С. 128–132. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Варфоломеев Ю.А. Использование еловой древесины с биологическими поражениями // Лесн. журн. – 2005. – № 4. – С. 151–153. – (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Варфоломеев Ю.А. Оценка перспективы переработки древесины с биоповреждениями из усыхающих ельников Архангельской области // Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения. – Архангельск: Департамент лесного комплекса Архангельской области; Центр защиты леса Архангельской области, 2007. – С. 42–44.

6. Варфоломеев Ю. А. Перспективы обработки биоповрежденной древесины защитными препаратами // Деревообработ. пром-сть. – 2006. – № 1. – С. 19–21.

7. Давитиашивили А.Ш., Варфоломеев Ю.А., Пьянков И.В. Возможности использования сухостойной древесины с биологическими повреждениями // Экономика и управление: спецвыпуск. – Сентябрь, 2007. – С. 41–43.

Yu.A. Varfolomeev

Northern (Arctic) Federal University

Modernization of Spruce Wood Processing with Biodeteriorations

The assessment of drying spruce stands of the Arkhangelsk region is made. The necessity of building forest roads in the affected stands is justified as well as carrying out research in the development of the efficient processing ways. It is offered to establish a national technopark on the basis of NArFU.

Keywords: drying forests, biodeteriorations, forest roads, forest harvesting, processing, national technopark, modernization.



ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 061.75

УЧИТЕЛЬ, УЧЕНЫЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННИК

В 2010 г. исполняется 100 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора, видного ученого и производственника Александра Морицевича Гольдберга (6 декабря 1910 г. – июль 1980 г.).

А.М. Гольдберг родился в г. Оренбурге, трудовую деятельность начал слесарем в объединении «Металлокомбинат» (г. Куйбышев), где проработал с 1928 г. по 1931 г. В 1931 г. поступил в Ленинградскую лесотехническую академию, на факультет механизации лесоразработок. В 1937–1938 гг. А.М. Гольдберг был главным инженером треста «Севкареллес» (г. Кемь), в 1938–1939 гг. – начальником технического отдела главка Наркомлеса СССР (г. Москва). С 1939 г. по 1942 г. вел научно-педагогическую работу в Ленинградской лесотехнической академии. В период с 1941 г. по 1948 г. занимал ответственную должность главного инженера треста «Леспромтрест» (г. Ленинград), главного инженера автотранспортного отдела НКЛ СССР (г. Москва). В 1945–1948 гг. по совместительству работал доцентом ЛТА, а с сентября 1948 г. и до конца жизни выполнял научно-педагогическую работу в штате академии в должностях доцента, профессора и заведующего кафедрой тяговых машин.

Научная школа проф. А.М. Гольдберга, включающая докторов и кандидатов технических наук, инженеров и студентов, известна многими прогрессивными техническими решениями и идеями, нацеленными на повышение эксплуатационной эффективности работы и надежности лесосечных машин.

А.М. Гольдберг опубликовал свыше 100 научных и методических работ, совместно с учениками более 30 учебников, учебных пособий и монографий. Учебники «Двигатели лесотранспортных машин», «Тяговые машины и подвижной состав лесовозных дорог», «Проектирование и расчет специальных лесных машин» с грифом Минобразования актуальны и в настоящее время. Он являлся ответственным редактором межвузовского сборника научных трудов по машинам и механизмам лесозаготовок и лесного хозяйства.

Большое внимание Александр Морицевич уделял воспитанию научно-педагогических кадров, подготовил ряд докторов и кандидатов технических наук. В настоящее время кафедра лесных гусеничных и колесных машин, на которой работают его ученики, выпускает высококвалифицированных инженеров и магистров по теории, конструированию, сервису и эксплуатации лесных машин.

Правительство СССР высоко оценило деятельность ученого, наградив медалями «За оборону Ленинграда», «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «В память 250-летия Ленинграда». Ученики, сослуживцы и все, кто знали А.М. Гольдберга, помнят его исключительную скромность, обаятельность, доброжелательное отношение к окружающим и чтут его заслуги перед Отечеством.

Г.М. Анисимов

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

G.M. Anisimov

Saint-Petersburg State Forest Technical Academy

Teacher, Scientist, Manufacturer



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*232(049.3)

Н.А. Бабич, В.И. Мелехов

Северный (Арктический) федеральный университет

ЦЕННОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издательством Московского государственного университета леса выпущено в свет учебное пособие проф. М.Д. Мерзленко «Краткий курс истории лесного дела в России» (М., 2010. – 170 с.). Оно предназначено для специализированной подготовки магистров направления «Лесное дело». В нем повествуется об истории развития лесного дела в России, начиная с допетровского времени. Рассказано о становлении государственного лесоуправления, лесных обществах и образовании, выдающихся представителях лесной науки.

Казалось бы, что нового и оригинального можно создать после капитальных трудов Ф.К. Арнольда, И.С. Мелехова, Г.И. Редько?! М.Д. Мерзленко стал историком давно, еще с легкой руки И.С. Мелехова. Вместе с ним он с 1977 г. по 1994 г. работал в Комиссии по истории лесов Московского общества испытателей природы при МГУ им. М.В. Ломоносова. В силу высокого профессионализма, пройденной научной школы, большого таланта исследователя, аналитического подхода к оценке событий прошлых лет он сумел написать учебное пособие, которое не только не носит компилятивный характер, но и содержит оригинальные новаторские трактовки некоторых исторических реалий. В первую очередь это касается глав «История лесного образования в России» и «Лесная периодическая печать». В последней приведен широкий спектр лесных периодических изданий, начиная от «Лесного журнала», основанного в 1833 г., и заканчивая периодикой сегодняшнего дня.

Много полезного узнают обучающиеся о развитии лесосеменного дела в России и грандиозных работах по полезащитному лесоразведению, а также о раритетных образцах рукотворных лесов, созданных замечательными лесоводами прошлого. С большой любовью и объективностью автор излагает жизненный и трудовой научно-производственный путь большой плеяды выдающихся отечественных лесоводов.

Изложение материала основано исключительно на исторических фактах. Пособие написано хорошим литературным языком, снабжено небольшим, но очень значимым библиографическим списком. Очень важный и нужный труд проф. М.Д. Мерзленко будет способствовать профессиональной подготовке будущих магистров.

N.A. Babich, V.I. Melekhov

Northern (Arctic) Federal University

Valuable Textbook



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

ГЕОРГИЙ ИВАНОВИЧ РЕДЬКО
(к 80-летию со дня рождения)

25 ноября 2010 г. исполняется 80 лет со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, заслуженного деятеля науки РФ, академика РАЕН и ЛАН Украины, лауреата медали и премии Ломоносовского фонда, профессора кафедры лесных культур С.-Петербургской государственной лесотехнической академии Георгия Ивановича Редько.

Он родился в с. Благодатное Волновахского района Донецкой области в семье шофера машинно-тракторной станции. По прошествии многих лет можно утверждать, что благодатная почва взрастила настоящего труженика. Г.И. Редько прошел нелегкий жизненный путь. Учеба в школе была прервана Великой Отечественной войной. В 10 лет он с сестрой и матерью попали под немецкую оккупацию. После освобождения с 12 лет работал в колхозе, учился в школе.

В 1946 г. после освобождения отца из лагеря Григорий Иванович начал учиться в Великоанадольском лесном техникуме. Здесь он впервые столкнулся с творчеством известного лесничего В.Е. фон Граффа. Величие созданных этим лесоводом рукотворных лесов определило научные интересы будущего ученого. Впоследствии Георгий Иванович посвятил В.Е. фон Граффу обширную монографию «Полковник корпуса лесничих».

В 1954 г. Г.И. Редько окончил с отличием лесохозяйственный факультет Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова. Два летних сезона после окончания III и IV курсов трудился таксатором в лесоустроительных экспедициях в Нанайском национальном округе и Республике Карелия. Получив диплом инженера, работал старшим лесничим Тихвинского лесхоза.

Аспирантуру Г.И. Редько проходил в Академии наук Украины и УкрНИИЛХе под руководством акад. П.С. Погребняка. В 1959 г. состоялась защита диссертации «Культура тополей в лесостепи УССР» на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Так размеренно и поступательно Георгий Иванович начал свой научный и трудовой путь. По окончании аспирантуры поступил работать старшим научным сотрудником Полесской агролесомелиоративной опытной станции УкрНИИЛХа, затем ее директором.



После защиты докторской диссертации на тему «Биология тополей и их разведение на Украине» Г.И. Редько был избран на должность заведующего старейшей кафедры лесных культур Ленинградской лесотехнической академии, которую возглавлял более 25 лет. В 1973–1978 гг. работу на кафедре совмещал с обязанностями проректора по научной работе. С 1996 г. по настоящее время трудится на благо русского леса в качестве профессора кафедры лесных культур СПбГЛТА.

Григорий Иванович проявил себя достойным продолжателем дела своих предшественников: Г.Ф. Морозова, А.Н. Соболева, Н.П. Кобранова, В.Д. и В.В. Огиевских. На сегодняшний день научные работы ученого широко известны как в России, так и за рубежом. Они посвящены лесовыращиванию, биологии и культуре тополей, агротехнике выращивания посадочного материала и многим другим современным проблемам лесных культур и лесоводства. На них ссылаются специалисты, по ним учатся студенты. Многие из работ опубликованы на иностранных языках. Под редакцией Г.И. Редько (и в соавторстве) вышли в свет пять изданий учебника по лесным культурам для вузов (1980, 1985, 1999, 2005, 2008). Он является автором более 30 методических пособий и лекций.

Наибольшую известность ему принесли работы по истории лесного хозяйства России и Украины («Корабельные леса во славу флота российского», 1993; «Петр I об охране и использовании природных ресурсов», 1993; «Полковник корпуса лесничих», 1994; «История лесного хозяйства России», 2002; «Лесное хозяйство России в жизнеописании его выдающихся деятелей», 2004 и др.). В этом вопросе он является продолжателем работ Ф.К. Арнольда и И.С. Мелехова.

Георгий Иванович изучал вопросы выращивания быстрорастущих древесных пород («Создание тополевых насаждений», 1996; «Биология и культура тополей», 1974), биоэкологические основы выращивания лесокультурного посадочного материала («Биоэкологические основы выращивания сеянцев сосны и ели», 1983; «Лесные питомники России», 1996), состояние лесных культур крупных регионов и отдельных выдающихся лесокультурных объектов («Рукотворные леса», 1986; «Лесовосстановление на Европейском Севере», 1994; «Корабельные леса Украины», 1995; «Черкасский Бор», 1991; «Искусственные леса», 1992 и др.).

На основании архивных материалов, оригинала рукописи и издания самой первой книги о лесах России «Собрание лесной науки» Ф.Г. Фокеля (1766 г.) он подготовил и организовал второе ее издание, дополнив анализом работы лесных «знателей» в России. В свое время эту книгу мечтал переиздать Г.Ф. Морозов.

Георгий Иванович возглавлял авторский коллектив группы ученых и написал большую часть крупной монографии, посвященной 200-летию академии («Страницы истории», 2003).

Всего профессор опубликовал почти 300 научных работ, в том числе более 30 монографий. В 2005 г. вышла в свет монография «Очерки лесокультурного дела в Украине». Георгий Иванович полон сил и творческих замыслов и к своему 80-летию сдал в печать вторую книгу из этого цикла «Очерки лесокультурного дела в России».

Г.И. Редько проявил себя талантливым педагогом. Многие тысячи студентов слушали его лекции. Профессор неоднократно бывал во всех лесных вузах СССР и России, где выступал с докладами и лекциями.

Научная и педагогическая деятельность Г.И. Редько получила высокую оценку общественности: он является заслуженным деятелем науки РФ (1993), академиком Лесоводственной АН Украины (1993) и РАЕН (1994), награжден семью медалями, в том числе медалью Ломоносовского фонда (1995) и медалью РАЕН им. П.Л. Капицы (1996), а также золотым нагрудным знаком за особые заслуги в учебной и методической работе С.-Петербургской лесотехнической академии (2003).

Лучшей наградой для Георгия Ивановича являются достойные ученики, продолжатели начатого дела. Под его руководством защитили кандидатские диссертации почти 40 аспирантов и соискателей, по 7 докторским диссертациям он был научным консультантом. Сейчас лучшие представители научной школы Г.И. Редько работают во многих лесных вузах страны, способствуя повышению их рейтинга. Не называя чинов, перечислим только фамилии его учеников: Н.А. Бабич, В.В. Беляев, А.П. Евдокимов, Н.В. Ковылин, Е.Н. Наквасина, И.П. Павлов, Е.М. Романов, Р.В. Сунгуров, В.П. Шлапак, В.Т. Ярмишко и др. Эти люди хорошо известны в мире лесной науки, стали видными учеными-лесоведами.

Поздравляя Григория Ивановича с замечательным юбилеем, желаем ему, чтобы и в восемьдесят он оставался таким же бодрым, целеустремленным и уверенным в себе человеком, сохранял крепкое здоровье, готовил новых благодарных учеников.

*Ректорат, коллективы лесохозяйственного факультета
и кафедры лесных культур С.-Петербургской государственной
лесотехнической академии*

*University Administration, Staff of Forestry Faculty and Forest Cultures
Department of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy*

**Georgy I. Redko
(by 80th Birthday)**

От редакции. Юбилею Г.И. Редько посвящена книга «Хранитель истории лесов России» (Архангельск, 2010. – 127 с.), подготовленная профессорами Н.А. Бабичем (Северный (Арктический) федеральный университет) и М.Д. Мерзленко (Московский государственный университет леса).

УДК 06.091

М.Я. ЗАРУБИНУ – 80 ЛЕТ

10 декабря 2010 г. исполняется 80 лет со дня рождения крупного российского ученого в области химии древесины, доктора химических наук, профессора С.-Петербургской государственной лесотехнической академии Михаила Яковлевича Зарубина.

М.Я. Зарубин родился в д. Кулемиха Ветлужского района Горьковской области. После окончания школы он поступил на химико-технологический факультет Ленинградской лесотехнической академии (ЛТА), которую окончил с отличием в 1954 г. по специальности «Химическая переработка древесины».



Будучи студентом второго курса под руководством проф. Д.В. Тищенко он начал заниматься научно-исследовательской работой на кафедре органической химии, с которой уже более полувека связана его научная, педагогическая и организационная деятельность. В 1954–1957 гг. М.Я. Зарубин – аспирант кафедры, затем в 1957–1962 гг. – сначала младший, затем старший научный сотрудник, а с 1962 г. – доцент кафедры.

В 1967–1971 гг. он преподает в Институте нефти и газа в Алжире, вначале в должности заместителя, а с 1969 г. – заведующего кафедрой химии. В июне 1972 г. его избирают заведующим кафедрой органической химии ЛТА, которую он возглавляет и по настоящее время. В 1977 г. М.Я. Зарубин защищает докторскую диссертацию на тему «Реакции лигнина при сольволизе растворами кислот и оснований». В 1979 г. ему присвоено звание профессора. В 1980 г. его назначают деканом химико-технологического факультета, в мае 1985 г. – проректором по учебной работе ЛТА.

Высокий научный авторитет Михаила Яковлевича проявился в его научно-общественной деятельности. С 1989 г. он является действительным членом Международной академии лесных наук (IAWS), с 1990 г. – председателем Совета экспертов по химии растительных ресурсов при ЮНЕСКО, в 1994 г. ему присвоено звание Соросовского профессора, в 1995 г. – академика РАЕН. Длительное время он работал директором департамента леса Всемирного технологического университета.

Более 25 лет М.Я. Зарубин возглавляет диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций при ЛТА, был членом редколлегии журнала «Химия древесины».

Михаила Яковлевича отличают исключительное трудолюбие, целеустремленность, настойчивость и добросовестность при выполнении любой работы. Доброжелательность и внимание к коллегам, личный пример позволили ему создать работоспособный творческий коллектив преподавателей и научных работников, многие из которых являются его учениками.

Отечественной и международной научной общественности хорошо известны работы М.Я. Зарубина в области химии древесины, особенно, в области реакционной способности и кислотно-основных свойств лигнина. Он автор более 250 статей, его работы представлены на многочисленных конференциях и симпозиумах по различным проблемам химии древесины. Выдвинутые им научные идеи и концепции успешно развивают его многочисленные ученики. Под его руководством подготовлено 5 докторов и более 25 кандидатов наук. Созданная им научная школа хорошо известна не только в России, но и за рубежом, ее представители работают в США, Канаде, Португалии, Австралии. Как специалиста в области химии древесины М.Я. Зарубина приглашали для чтения лекций во Францию и Японию.

Широкая научная эрудиция, способность ставить и решать актуальные задачи позволили Михаилу Яковлевичу завязать обширные международные связи. Руководимая им кафедра установила сотрудничество с учеными Франции, Германии, США, Финляндии, Австралии и других стран, ряд совместных исследований выполняется и в настоящее время.

Гражданская позиция Михаила Яковлевича как человека, ответственного за то, каким будет следующее поколение, особенно ярко проявилась в трудные для высшей школы десятилетия. Его педагогическая и научная деятельность и сейчас направлена на поддержание интеллектуального потенциала российских вузов и воспитание кадров отечественной научной и технической интеллигенции.

Его труд по достоинству оценен в 1977 г. Указом Президента Российской Федерации ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ». За высокие достижения в науке и успехи в подготовке научных кадров он награжден памятной медалью Международной академии наук о природе и обществе «За заслуги в деле возрождения науки и экономики России» (2001 г.), памятной медалью в связи с 250-летием С.-Петербурга и др. наградами.

Друзья, ученики и коллеги поздравляют М.Я. Зарубина с юбилеем и желают ему дальнейших успехов в работе и творческого долголетия.

*Ректорат и коллектив С.-Петербургской
государственной лесотехнической академии*

*Administration and Employees of Saint-Petersburg
State Forest Technical Academy*

М.Ya. Zarubin – 80th year



НЕКРОЛОГИ

ПАМЯТИ ЕГОРА НИКИТИЧА САМОШКИНА

27 июля 2010 г. на 76-м году после непродолжительной болезни ушел из жизни Егор Никитич Самошкин – крупный ученый, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки, заслуженный лесовод России, академик РАЕН, заведующий кафедрой садово-паркового и ландшафтного строительства Брянской государственной инженерно-технологической академии.

Он родился на Брянщине в крестьянской семье и с раннего детства познал трудности сельской жизни, полюбил природу родного края. После окончания семилетней школы поступил на лесохозяйственное отделение Трубчевского лесотехнического техникума. Учеба давалась легко. По окончании техникума с отличием молодой специалист получил направление на работу в лесное хозяйство Ленинградской области на должность помощника лесничего. В 1954 г. он был призван в ряды Советской армии. На боевом корабле Балтийского флота освоил профессию радиометрика, дослужился до старшины второй статьи.

За годы службы на флоте (1954–1957 гг.) Егор Никитич поступил и окончил 4 курса Всесоюзного заочного лесотехнического института, обучение завершал уже будучи помощником лесничего Заднянского лесничества Клетнянского леспромхоза на Брянщине. В 1959 г. его перевели лесничим Жеренского лесничества Трубчевского леспромхоза, где он трудился до 1960 г. На молодого, но уже опытного лесничего Е.Н. Самошкина обратил внимание В.Н. Николаюк, руководитель Брянского областного управления лесного хозяйства, и после нескольких производственных бесед посоветовал ему встретиться с крупным ученым, профессором Б.В. Гроздовым. В ходе обстоятельного обсуждения вопросов производства профессор увидел в собеседнике стремление к исследовательской деятельности и предложил ему работу лекционного ассистента на кафедре дендрологии и лесной селекции Брянского лесохозяйственного института. Опытный специалист лесного хозяйства, Егор Никитич совмещал работу лекционного ассистента с подготовкой к кандидатским экзаменам и сбором полевых материалов для диссертации. За 4 года были проведены натурные и лабораторные исследования лещины обыкновенной по признаку формового разнообразия, пищевых качеств ореха, устойчивости при произрастании под пологом леса и других свойств. По их результатам в 1965 г. в Белорусском технологическом институте состоялась защита кандидатской диссертации.

Успешная защита и переход в штат преподавателей кафедры дендрологии БТИ вдохновили Е.Н. Самошкина на новые направления научных исследований. Молодому кандидату поручили курс генетики и лесной селекции. Он начал читать теоретическую часть лесной селекции на внутриклеточном уровне, ввел элементы генетической наследственности и изменчивости. В 34 года стал деканом лесохозяйственного факультета, в 37 – заведующим кафедрой, эти должности занимал 23 года. Под его научным руководством 15 аспирантов защитили кандидатские и 5 человек докторские диссертации.



Проф. Е.Н. Самошкин развил новое направление в науке – химический мутагенез в лесоводстве, продолжателями которого в лесной селекции являются доктора наук В.П. Иванов и А.Н. Ткаченко. Опубликовано несколько десятков научных работ, среди них монография Е.Н. Самошкина «Воздействие химических мутагенов на древесные растения». Сотрудники кафедры и лесохозяйственного факультета включались в исследования по Единой государственной программе, связанной с Чернобыльской катастрофой. Результатом этих работ явились методические указания и рекомендации ИТР лесного хозяйства по экологическому мониторингу лесов Брянской и смежных областей, а также лесов Украины и Белоруссии.

В период работы Егора Никитича в Брянске кафедра поддерживала постоянную связь с лесохозяйственным производством по вопросам отбора плюсовых насаждений и деревьев при организации лесосеменной базы, интродукции и акклиматизации древесных видов, гибридизации ценных гибридных форм и сортов. У местных и интродуцированных видов выделено и описано несколько сот форм и сортов. В настоящее время учтено около 700 таксонов-интродуцентов из различных стран мира.

Е.Н. Самошкин пользовался заслуженным уважением и авторитетом среди коллег и студентов, чутко реагировал на сложные проблемы факультета в перестроечный период. По его инициативе открыта специальность «Садово-парковое и ландшафтное строительство», создана необходимая практическая база, установлены творческие связи с Московским университетом леса и С.-Петербургской лесотехнической академией.

Широко образованный и эрудированный ученый, он состоял членом ряда диссертационных советов, выполнял обязанности заместителя председателя в совете БГИТА, члена ученого совета академии, лесохозяйственного факультета, члена редколлегии «ИВУЗ. Лесного журнала», научного редактора трудов академии, дважды избирался депутатом горсовета г. Брянска, где возглавлял комиссию по экологии и охране окружающей среды.

С 1992 г. и до последних дней жизни Егор Никитич консультировал службы озеленения областного центра по реконструкции насаждений, подбору ассортимента древесных видов, технологии работ по благоустройству улиц и площадей. Уделял большое внимание Ботаническому саду им. Б.В. Гроздова. По инициативе Е.Н. Самошкина сад занесен в книгу Ботанических садов мира, постоянно пополняется редкими и экзотическими растениями, составляет прекрасную учебно-демонстрационную базу для обучения студентов, периодически используется как объект специализированных экскурсий для жителей области, молодежи города и иностранных туристов.

Свою жизнь Е.Н. Самошкин полностью посвятил служению Брянскому лесу, высшему лесному образованию и лесной науке, создал школу лесного мутагенеза, участвовал в подготовке более 5 тысяч инженеров лесного хозяйства, которые продолжают дело своего наставника в учреждениях лесного хозяйства, во многих вузах России и Белоруссии.

*Коллектив Брянской государственной
инженерно-технологической академии*

Administration of Bryansk State Engineering-Technological Academy

In memory of Egor N. Samoshkin
