

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

5

2007

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – проф. **О.М. Соколов**

Заместители главного редактора:

проф. **А.Л. Невзоров**, проф. **Е.С. Романов**, проф. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **А.С. Алексеев**, проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **А.А. Камусин**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **Р.Н. Матвеева**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолевская**, проф. **Е.Н. Наквасина**, доц. **О.А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **Д.А. Пономарев**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **А.В. Селиховкин**, проф. **В.В. Сергеевичев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **А.И. Черnodубов**, проф. **Г.А. Чибисов**, 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» № 5

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

Сдан в набор 01.11.2007. Подписан в печать 25.12.2007. Заказ № 272
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,97. Усл. кр.-отт. 13,97.
Уч.-изд. л. 16,81. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2007



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова, Н.П. Братилова.</i> Рост кедровых сосен на гибридно-семенной плантации в пригородной зоне Красноярск.....	7
<i>Г.Д. Главацкий, Ю.Т. Цай, В.М. Груманс.</i> Оптимизация системы мероприятий по охране труда и технике безопасности лесных пожарных.....	16
<i>В.Д. Шульга.</i> К обоснованию приемов создания заведомо устойчивых древостоев в степи.....	20
<i>В.Ф. Цветков.</i> Формирование насаждений.....	27
<i>А.В. Грязькин.</i> Рациональная хозяйственная деятельность как способ реализации возобновительного потенциала лесных экосистем.....	36

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.И. Варава, В.П. Антипин, Е.Н. Власов, Г.В. Каршев, А.П. Токин.</i> Энергозатраты трактора ТБ-1.....	45
<i>С.С. Синецких.</i> Обоснование силовой передачи колесных лесотранспортных машин.....	53
<i>Н.С. Иванова.</i> Закономерности объемов заготовки и выхода фанерного кряжа.....	57

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Ю.И. Цой, С.М. Крутов, А.Ю. Марчук.</i> Физико-химические процессы в окрашенных образцах древесины после климатического старения.....	62
<i>А.В. Питухин, Ю.В. Янюк, Е.А. Питухин.</i> Управление процессом послефлотационной сушки щепы.....	66
<i>А.В. Сергеевичев, А.Ю. Волков.</i> Изготовление оцилиндрованных бревен и точность обработки.....	72
<i>В.Н. Глухих.</i> Упругая деформативность древесины поперек волокон.....	77
<i>О.И. Бачин.</i> Вязкость разрушения сталей для изготовления круглых пил.....	84

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>В.И. Антонов, В.И. Ягодин.</i> Экстракционная переработка древесной зелени пихты и кедра сибирских.....	89
<i>Л.П. Майорова.</i> О некоторых особенностях химизма сульфитной щелочной варки березовой древесины.....	94
<i>Н.И. Полежаева.</i> Новые продукты с использованием канифоли, полученной при комплексной переработке коры пихты и лиственницы сибирской....	102
<i>П.А. Тупин, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов.</i> Криоскопический метод определения активности ферментов в ЦБП.....	106

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

<i>Е.С. Романов, И.В. Лаврова.</i> Эволюция экономических отношений предприятий-поставщиков и переработчиков древесного сырья.....	112
<i>В.И. Мосягин, Пэй Яньчжао.</i> Экономическая эффективность энергетического использования вторичных древесных ресурсов.....	118

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- В.М. Боровков, Е.М. Михайлова.* Повышение эффективности систем тепло-снабжения..... 122
- И.М. Стрелков.* Повышение износостойкости круглых пил методом лазерной термической обработки..... 130
- Р.Н. Галиахметов, А.Ю. Варфоломеев.* Производственные испытания нового антисептика на еловых пиломатериалах..... 132
- В.К. Любов.* Повышение эффективности работы котельных установок..... 135

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

- Ф.В. Кишенков, М.Н. Неруш, В.И. Рубцов, М.А. Сеньющенков.* Разработка программно-методического модуля по изучению курса «Экология Брянской области». Раздел «Леса Брянщины»..... 142

ЮБИЛЕИ

- Коллеги, ученики.* Юбилей Николая Алексеевича Бабича..... 147



CONTENTS

FORESTRY

<i>R.N. Matveeva, O.F. Boutorova, N.P. Bratilova.</i> Propagation of Cedar Pines on Hybrid-seed Orchard in Krasnoyarsk Suburban Zone.....	7
<i>G.D. Glavatsky, Yu.T. Tsay, V.M. Grumans.</i> Optimization of Labor Protection and Safety Measures System for Forest Fire Fighters.....	16
<i>V.D. Shulga.</i> On Justification of Ways of Establishing Fully Sustainable Stands in Steppe.....	20
<i>V.F. Tsvetkov.</i> Formation of Plantations.....	27
<i>A.V. Gryazkin.</i> Rational Economic Activity as Way of Regeneration of Forest Ecosystems Potential.....	36

WOODEXPLOITATION

<i>V.I. Varava, V.P. Antipin, E.N. Vlasov, G.V. Karshev, A.P. Tokin.</i> Power Inputs of TB-1 Tractor.....	45
<i>S.S. Sinitsyn.</i> Justification of Power Transmission for Wheeled Timber-hauling Machines.....	53
<i>N.S. Ivanova.</i> Regularities of Harvesting Volumes and Yield of Veneer Logs.....	57

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>Yu.I. Tsoj, S.M. Krutov, A. Yu. Marchuk.</i> Physico-chemical Processes in Painted Samples of Wood after Climatic Ageing.....	62
<i>A.V. Pitukhin, Yu.V. Yanyuk, E.A. Pitukhin.</i> Management of After-flotation Chip Drying Process.....	66
<i>A.V. Sergeevichev, A.Yu. Volkov.</i> Production of Cylinderized Logs and Processing Accuracy.....	72
<i>V.N. Glukhikh.</i> Elastic Deformability of Wood across Grain	77
<i>O.I. Bachin.</i> Crack Resistance of Steel for Circular Saws Manufacture.....	84

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.I. Antonov, V.I. Yagodin.</i> Extraction Processing of Wood Green of Siberian Fir and Pine.....	89
<i>L.P. Majorova.</i> On Some Peculiarities of Chemism of Sulphite Alkaline Cooking of Birch Wood.....	94
<i>N.I. Polezhaeva.</i> New Products with Colophony Produced under Complex Processing of Fir and Siberian Larch Bark.....	102
<i>P.A. Tupin, D.G. Chukhchin, O.M. Sokolov.</i> Cryoscopic Method for Determining Enzyme Activity in Pulp-and-paper Production.....	106

ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>E.S. Romanov, I.V. Lavrova.</i> Evolution of Economic Relations of Enterprisers – Suppliers and Processors of Wood Raw Material.....	112
<i>V.I. Mosyagin, Pei Yanzhao.</i> Economic Efficiency of Using Secondary Wood Resources for Energy Purposes.....	118

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

<i>V.M. Borovkov, E.M. Mikhailova.</i> Efficiency Increase of Heat Supply System.....	122
<i>I.M. Strelkov.</i> Increase of Circular Saws Wear Resistance by Method of Laser Heat Treatment.....	130
<i>R.N. Galiakhmetov, A.Yu. Varfolomeev.</i> Manufacturing Testing of New Antiseptic on Spruce Sawn Timber.....	132
<i>V.K. Lyubov.</i> Increase of Operating Efficiency of Boiler Plants.....	135

METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING

<i>F.V. Kishenkov, M.N. Nerush, V.I. Rubtsov, M.A. Senyushchenkov.</i> Development of Program-methodical Module for Studying Course «Ecology of Bryansk Region». Section «Bryansk Forests».....	142
---	-----

JUBILEES

<i>Colleagues, followers.</i> Jubilee of Nikolay A. Babich.....	147
---	-----



УДК 630*232.311.3

Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова, Н.П. Братилова

Матвеева Римма Никитична родилась в 1942 г., окончила в 1965 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета, академик РАЕН, заслуженный лесовод РФ. Имеет 310 печатных работ по лесной селекции, лесовыращиванию, плодоводству.



Буторова Ольга Федоровна родилась в 1944 г., окончила в 1967 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета, академик РАЕН. Имеет около 250 печатных работ в области лесовыращивания, лесной селекции, плодоводства.



Братилова Наталья Петровна родилась в 1969 г., окончила Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, докторант кафедры селекции, лесных культур и озеленения Сибирского государственного технологического университета. Имеет 104 печатные работы по лесной селекции, экологии, лесовыращиванию.



РОСТ КЕДРОВЫХ СОСЕН НА ГИБРИДНО-СЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ В ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЕ КРАСНОЯРСКА*

Проанализирован рост кедра сибирского и корейского разного географического происхождения на гибридно-семенной плантации в пригородной зоне Красноярска. Показана перспективность использования их потомства при создании искусственных насаждений.

Ключевые слова: кедр сибирский, кедр корейский, плантационные культуры, фитомасса, Сибирь.

* Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию по программе «Развитие научного потенциала высшей школы» (конкурс 2004 г.).

Сохранение и воспроизводство лесов как важнейшего природоформирующего компонента окружающей среды предусматривают проведение лесовосстановительных работ. Успехи в этом направлении могут быть достигнуты при мониторинге основных лесообразующих видов, разработке мероприятий по сохранению генофонда, использовании селекционных методов. Кедровые леса выполняют почвозащитную, водоохранную функции и являются конденсаторами и производителями биологически активного кислорода, насыщенного отрицательными ионами, фитонцидами и др. [1–4, 6].

Одним из путей получения кедровых семян, отличающихся генетическим разнообразием, является создание гибридно-семенных плантаций (ГСП), содержащих генотипически специфичные лесные популяции, сформированные тысячелетиями в определенных лесорастительных условиях. Они предназначены для получения ценных по наследственным свойствам семян, сохранения генетических ресурсов природных популяций, ускорения селекционного процесса, направленного на получение репродуктивного, соматического или адаптивного гетерозиса.

Для создания ГСП в пригородной зоне Красноярска на территории Караульного лесничества учебно-опытного лесхоза СибГТУ были посажены растения кедров сибирского и кедров корейского разного географического происхождения [4]. Плантация площадью 6 га создана в 1979–1980 гг. посадкой 16–17-летнего потомства семенного происхождения (посев 1964 г.) нескольких экотипов из популяций Красноярского края, Кемеровской области, республик Алтай, Казахстана и др. в количестве 606 экземпляров. В качестве местного экотипа (контроля) взято потомство из Бирюсинского лесничества учебно-опытного лесхоза СибГТУ Красноярского края (табл. 1).

Расстояние между рядами и посадочными местами составляло 5 м. Между секциями, включающими опылители разного географического происхождения, размещены по два защитных ряда из сосны обыкновенной или лиственницы сибирской. При создании ГСП кедровых сосен предусматривалась следующая схема. Через каждые три ряда растений-опылителей создавали смешанный ряд из опылителей и семенников, причем семенники располагали через каждые три растения. Таким образом, семенники опылялись пылью 36 и более растений-опылителей другого происхождения или вида, расположенных вокруг семенников, т. е. использовался аналог множественной гибридизации. В площадки, предназначенные для опылителей, высаживали по одному растению, для семенников – по пять, учитывая индивидуальную изменчивость при их вступлении в фенологические фазы, включая период опыления и созревания стробиллов.

Наличие различных экотипов и видов кедровых сосен на плантации дает возможность получить гибриды от свободного опыления при отдаленном внутривидовом и межвидовом скрещиваниях, например, высокогорные и низкогорные (лениногорские × ярцевские), кедр сибирский и кедр корейский и др.

Таблица 1

Характеристика материнских насаждений

Происхождение, номер паспорта	Республика, край, область	Предприятие	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Класс		Тип леса	Состав
			с. ш.	в. д.		бонитета	возраста		
Кедр сибирский									
Абазинское, 102/33	Хакасия	Абазинский лесхоз, Арбат- ское лесничество	52°41′	90°07′	800	III	V	К.тр	7К3П
Аскизское, 101/32	»	Бирикчульский лесхоз, Ба- лыксинское лесничество	53°20′	90°	570	III	V	П.тр	7П3К
Атушкенское, 76/7	Алтай	Каракокшинский ЛПХ, урочище Атушкен	51°20′	86°54′	700	III	VI	К.тр	5К3П2Б
Бирюсинское, 114/11	Красноярский	Учебно-опытный лесхоз СибГТУ, Бирюсинское лесничество	56°	90°30′	300	III	V	К.рт	7К2Е1П
Лениногорское, 75/6	Казахстан	Лениногорский лесхоз, Черно-Убинское лесниче- ство	50°12′	85°33′	1700	III	VII	К.кисл	10К
Тисульское, 73/4	Кемеровская	Тисульский лесхоз	55°50′	88°24′	800	III	VI	К.папор	6К4П
Ярцевское, 71/2	Красноярский	Ярцевский ЛПХ, Ворогов- ское лесничество	61°	90°	100	III	IV	К.пойм	10К
Кедр корейский									
Приморское, 111/8	Приморский	Вакский лесхоз, Тудо-	46°54′	134°12′	250	V	V	К.широ-	3К1Е1П

Хабаровское, 77/8	Хабаровский	Вакское лесничество Хабаровский лесхоз, На- найское лесничество	49°	135°20'	300	V	V	кол То же	ЗБ1Лп1Я ЗК3Е2Лп2 Я
-------------------	-------------	---	-----	---------	-----	---	---	--------------	--------------------------

Таблица 2

**Высота и диаметр кедровых сосен 17-летнего биологического возраста,
используемых в качестве опылителей**

Происхождение	Высота				Диаметр			
	$M \pm m$, м	V, %	p, %	t_{ϕ} при $t_{05}=1,99$	$M \pm m$, см	V, %	p, %	t_{ϕ} при $t_{05}=1,99$
Кедр сибирский								
Атушкеньское	$1,70 \pm 0,06$	43,0	3,5	-	$1,80 \pm 0,07$	47,4	3,9	1,3
Бирюсинское	$1,60 \pm 0,08$	31,9	5,0	1,0	$2,00 \pm 0,13$	45,5	6,5	-
Лениногорское	$1,40 \pm 0,05$	46,8	3,6	3,8	$1,70 \pm 0,05$	38,5	2,9	0,7
Тисульское	$1,40 \pm 0,05$	29,3	3,6	3,8	$1,90 \pm 0,14$	26,4	7,4	0,6
Ярцевское	$1,50 \pm 0,04$	23,7	2,7	2,9	$1,80 \pm 0,11$	29,7	6,1	0,0
Кедр корейский								
Приморское	$1,80 \pm 0,06$	21,1	3,3	-	$2,00 \pm 0,18$	27,5	9,0	-
Хабаровское	$1,60 \pm 0,05$	24,5	3,1	2,5	$1,90 \pm 0,19$	30,2	10,0	0,4

Известно, что от начального периода жизни растений во многом зависят количественные и качественные их характеристики в дальнейшем. Продуктивность древесных растений в значительной мере определяется высотой и диаметром, что служит проявлением генотипа в конкретных экологических условиях. Высота растений отражает итоговые показатели роста во взаимосвязи с условиями среды. В год посадки средняя высота растений кедров сибирского разного происхождения варьировала от 1,4 до 1,7 м, диаметр от 1,7 до 2,0 см при высокой внутрипопуляционной изменчивости (табл. 2).

Растения атушкеньского и местного (бирюсинского) происхождений кедров сибирского были на 13,3 ... 21,4 % выше лениногорского, тисульского и ярцевского экотипов. В пределах популяций изменчивость биометрических показателей характеризуется высоким и очень высоким (23,7...47,4 %) уровнями. Экотип кедров корейского приморского происхождения превышал на 12,5 ... 28,6 % хабаровский и экотипы кедров сибирского, кроме атушкеньского.

Средний диаметр стволиков достигал наибольших размеров у растений кедров сибирского бирюсинского и кедров корейского приморского происхождений. Заметное отставание наблюдалось у потомства кедров сибирского высокогорной (лениногорской) популяции. Варьирование диаметра стволиков в пределах экотипов высокое и очень высокое (26,4 ... 47,4 %).

В первые годы после посадки прирост растений был слабым (0,8 ... 4,0 см). Через четыре года (после восстановления корневой системы) экотипы-опылители имели среднюю высоту 1,5 ... 1,9 м (табл. 3).

Различия между крайними значениями кедров сибирского по высоте составили 26,7, диаметру ствола – 33,3, кроны – 54,7 %, кедров корейского по высоте – 18,8, диаметру кроны – 10,4 %. Самые низкие показатели роста характерны для потомства высокогорной (лениногорский экотип) и северной (ярцевский) популяций.

Таблица 3

Показатели роста и качества 20-летних культур

Происхождение	Высота (H), м	Диаметр (D), см		D ствола / H	D кроны / H	D кроны/ D ствола
		ствола	кроны			
Кедр сибирский						
Атушкенское	1,8	2,4	70,6	1,3	0,39	0,29
Бирюсинское	1,9	2,1	82,9	1,1	0,44	0,39
Лениногорское	1,5	2,2	53,6	1,5	0,36	0,24
Тисульское	1,7	2,0	75,1	1,2	0,44	0,38
Ярцевское	1,6	1,8	59,6	1,1	0,37	0,33
Кедр корейский						
Приморское	1,9	2,1	82,9	1,1	0,44	0,39
Хабаровское	1,6	2,0	75,1	1,2	0,47	0,38

Таблица 4

Образование боковых побегов в мутовках текущего прироста

Происхождение	Число боковых побегов, шт., в биологическом возрасте, лет							
	13	14	15	16	17	18	19	20
Кедр сибирский								
Атушкенское	3	2	1	0	1	1	1	2
Бирюсинское	3	3	2	3	0	1	1	2
Лениногорское	3	3	1	0	1	1	1	2
Тисульское	3	2	3	2	0	1	1	2
Ярцевское	3	2	3	2	0	1	1	2
Кедр корейский								
Приморское	2	2	3	2	0	2	1	1
Хабаровское	2	2	2	1	0	1	1	1

Благоприятное соотношение между диаметром кроны и ствола (0,38 ... 0,39) отмечено у кедра сибирского бирюсинского, тисульского экотипов и у кедра корейского испытанных происхождений (табл. 3). Подобные результаты получены при анализе соотношения диаметра кроны и высоты дерева. В целом на плантации кроны лучше развивались у потомства кедра сибирского местной (бирюсинской) популяции, хуже – у лениногорской из Казахстана.

Анализ формирования мутовок у растений разного географического происхождения показал, что перед посадкой в 13-14-летнем биологическом возрасте число боковых ветвей на верхней мутовке составляло 1 ... 3 шт., на следующий год после посадки образование боковых ветвей прекратилось. В последующие 2-3 года в мутовках текущего прироста сформировалось по 1-2 боковых побега (табл. 4).

Характеристика боковых побегов до посадки (в возрасте 15-16 лет) и после посадки (19 лет) приведена в табл. 5.

Длина боковых побегов, достигавшая до пересадки 7,3 ... 10,6 см, спустя три года составила всего 6,5 ... 9,0 см. Диаметр побегов изменился незначительно. Угол прикрепления ветвей к стволу снизился от 57 ... 73 до

Таблица 5

Характеристика боковых побегов на текущем приросте

Происхождение	Длина побега, см, в возрасте, лет		Угол прикрепления, град, в возрасте, лет		Фитомасса, г, в возрасте, лет	
	15-16	19	15-16	19	15-16	19
Кедр сибирский						
Атушкеньское	8,7	9,0	57	36	2,0	2,1
Бирюсинское	10,2	8,7	73	32	2,2	2,0
Ленинское	7,3	6,5	66	37	1,7	1,4
Тисульское	10,6	8,6	64	33	2,3	1,8
Ярцевское	10,0	7,7	65	32	2,2	1,7
Кедр корейский						
Приморское	10,2	8,7	64	32	2,0	2,0
Хабаровское	10,6	8,6	73	33	2,1	1,8

32 ... 38° после пересадки растений на плантацию. Фитомасса хвои и побегов (в абс. сухом состоянии) осталась на прежнем уровне у кедра сибирского из наиболее продуктивных популяций Кузнецко-Североалтайского лесосеменного района (атушкеньского экотипа) и кедра корейского приморского экотипа. У потомства остальных экотипов она уменьшилась от 10,0 (бирюсинский) до 29,4 % (ярцевский).

Влияние пересадки сказывалось на приросте в течение 5-6 лет. В этот период он постепенно увеличивался от 0,8 ... 4,0 до 8,4 ... 11,4 см. В дальнейшем годичный прирост центрального побега отражал влияние условий среды и генотипа. Наблюдения за динамикой прироста показали его значительную возрастную изменчивость при максимальном различии в 2,9 раза между крайними вариантами в 21-летнем, в 2,2 раза – в 23-летнем и в 2 раза – в 26-летнем возрасте.

Зависимость биометрических показателей от географического происхождения, выявленная в год посадки, сохраняется и далее. Окончательная стабилизация ранговых мест потомства экотипов сосны обыкновенной наблюдается с 30-летнего возраста [5]. К 39-летнему биологическому возрасту средняя высота кедровых сосен составила 5,5 ... 7,1 м (табл. 6).

Таблица 6

Биометрические показатели кедровых сосен

Происхождение	Высота		Диаметр		Диаметр кроны		Протяженность кроны	
	$M \pm m$, м	t_{ϕ}	$M \pm m$, см	t_{ϕ}	$M \pm m$, м	t_{ϕ}	$M \pm m$, м	t_{ϕ}
Кедр сибирский								
Атушкеньское	7,10±0,15	–	14,30±0,31	0,01	4,20±0,12	–	6,20±0,14	–
Бирюсинское	6,70±0,14	1,95	14,40±0,40	–	3,70±0,17	2,40	5,80±0,16	1,88
Ленинское	5,90±0,14	5,85	13,00±0,29	2,86	3,40±0,15	4,16	5,30±0,14	4,54
Тисульское	5,50±0,18	6,83	13,40±0,41	1,75	3,70±0,17	2,40	4,70±0,12	8,13
Ярцевское	5,50±0,13	8,06	12,40±0,32	3,92	3,30±0,14	4,88	4,70±0,14	7,57
Кедр корейский								
Приморское	6,50±0,28	–	10,50±0,44	–	4,70±0,21	–	5,80±0,28	–
Хабаровское	5,60±0,22	2,53	8,70±0,43	2,93	3,80±0,19	3,18	4,80±0,22	2,81

Полученные данные подтверждают большое разнообразие эколого-географических условий в пределах ареала, что обуславливает значительную дифференциацию генофонда. Лучшим ростом отличается кедр сибирский атушкеньского и бирюсинского экотипов, худшим потомство ярцевской, тисульской и лениногорской популяций. Как показал анализ, биометрические показатели атушкеньского экотипа (Республика Алтай, 51° 20' с. ш.) значительно выше, чем у ярцевского (Красноярский край, 61° с. ш.) и лениногорского (Казахстан, 50°12' с. ш.), материнские популяции которых произрастают ближе к северной и южной границам ареала.

У кедра корейского по интенсивности роста выделяется потомство приморского экотипа, которое превосходит по высоте кедр сибирский лениногорского, тисульского, ярцевского происхождений, но уступает им по диаметру ствола на 18,1 ... 27,6 %. Хабаровский экотип кедра корейского отстает от местного экотипа кедра сибирского по высоте на 19,6 %.

Большим диаметром кроны характеризуется также потомство кедра сибирского атушкеньского (Республика Алтай) и бирюсинского (местного) происхождений. Различия с лениногорским и ярцевским вариантами составляют 11,5 ... 21,1 % (табл. 6).

Таблица 7

Показатели отселектированных растений

Происхождение	Шифр	Высота		Диаметр ствола	
		м	%	см	%
Кедр сибирский					
Деревья-опылители					
Атушкеньское	5-74	11,0	154,9	20	139,9
	5-81	10,8	152,1	19	132,8
Среднее по секции Бирюсинское		7,1	100	14,3	100
	8-26	9,2	137,3	21	145,8
	8-22	8,6	128,4	18	125,0
Среднее по секции Лениногорское		6,7	100	14,4	100
	4-31	9,7	164,4	17	130,8
	4-71	9,5	161,0	21	161,5
Среднее по секции Тисульское		5,9	100	13,0	100
	9-43	7,8	141,8	16	119,4
	9-49	7,6	138,2	15	111,9
Среднее по секции Ярцевское		5,5	100	13,4	100
	6-69	7,9	143,6	18	145,2
	6-50	7,8	141,5	15	121,0
Среднее по секции		5,5	100	12,4	100
Семенники					
Абазинское	5-27Аб	7,4	104,2	12	83,9
	4-36Ас	8,0	135,6	14	97,9
Аскизское	4-40Ти	6,6	111,9	11	82,1
Ярцевское	5-30Яр	6,8	95,8	19	153,2
Кедр корейский					
Приморское	5-75Ко	8,0	123,1	17	161,9
Среднее по секции		6,5	100	10,5	100

Потомство кедр корейского приморского экотипа по развитию кроны превосходит хабаровский на 20,8 ... 23,7 %. Диаметр кроны у кедр корейского приморского экотипа на 11,9 ... 42,4 % больше, чем у кедр сибирского, но по протяженности достоверно превышает (на 23,0 %) только потомство тисульского и ярцевского происхождений.

Текущий прирост в высоту варьировал от 28,7±0,85 см (тисульское происхождение) до 33,1±0,62 см (атушкенское), длина хвои – от 10,1 см (лениногорское) до 12,3 см (тисульское).

Исследования показали, что среди опылителей лучше растут атушкенский и бирюсинский экотипы кедр сибирского, приморский – кедр корейского. Среди деревьев-опылителей и семенников выделены особи, отличающиеся сравнительно быстрым ростом (табл. 7). Отбор ценных экземпляров, размноженных вегетативно, позволит на небольших площадях сосредоточить группы растений повышенной продуктивности.

При сравнительном анализе роста кедров в пригородной зоне Красноярска установлены больший диаметр ствола, но меньший диаметр кроны у кедр сибирского, что сказывается на накоплении фитомассы, имеющей большое экологическое значение (табл. 8). У кедр корейского меньше масса хвои, ветвей ствола и общая.

Прослежена динамика накопления фитомассы растениями в возрасте от 15 до 40 лет (табл. 9). По общей фитомассе надземной части кедр корейский, начиная с 20-летнего биологического возраста, уступает кедр сибирскому на 11,4 %. В 40-летнем возрасте это различие увеличилось до 32,1 %. Соотношение массы хвои, ветвей и ствола у кедр сибирского, составлявшее перед посадкой 39:19:42, постепенно изменилось до 20:24:56, т. е. доля хвои снизилась в 1,9 раза, ветвей и ствола увеличилась в 1,3 раза. У кедр корейского при меньшей общей фитомассе прослеживается такое же соотношение массы хвои, ветвей и ствола.

Таблица 8

Показатели роста культур 39-летнего биологического возраста

Показатель	Кедр сибирский		Кедр корейский	
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %
Высота, м	6,10 ± 0,08	28,8	6,00 ± 0,26	27,3
Диаметр ствола, см	13,50 ± 0,17	28,0	9,60 ± 0,44	28,9
Диаметр кроны, м	3,70 ± 0,03	17,8	4,20 ± 0,20	30,0
Протяженность кроны, м	5,30 ± 0,07	29,0	5,30 ± 0,25	29,7
Абс. сухая фитомасса, кг на одно дерево:				
общая	32,80 ± 0,97	59,8	21,80 ± 1,59	61,5
хвои	6,64 ± 0,19	56,4	4,52 ± 0,31	58,1
ветвей	7,87 ± 0,25	65,2	5,15 ± 0,41	67,4
ствола	18,26 ± 0,54	59,5	12,09 ± 0,86	59,8

Таблица 9

Фитомасса надземной части кедровых сосен

Биологический возраст, лет	Фитомасса надземной части			
	Общая, кг на одно дерево	Хвоя	Ветви	Ствол
		%		
	Кедр сибирский			
15	0,332	39,1	19,2	41,7
20	0,642	37,4	18,7	43,9
25	1,981	37,8	23,2	39,0
30	5,978	22,1	18,4	59,5
35	16,584	20,9	21,4	57,7
40	40,383	19,9	24,1	56,0
	Кедр корейский			
15	0,374	39,0	19,3	41,7
20	0,576	36,1	17,5	46,4
25	1,426	32,2	19,1	48,7
30	3,456	22,8	18,4	58,8
35	11,266	21,5	21,7	56,8
40	30,578	20,3	24,0	55,7

Выводы

Анализ роста кедровых сосен в пригородной зоне Красноярска подтвердил успешность произрастания культур разной видовой принадлежности и географического происхождения. Различие сравниваемых экотипов по высоте достигает 29,1; диаметру ствола – 16,1; диаметру и протяженности кроны – 27,3 и 31,9 % соответственно. Кедр сибирский имеет большую высоту и диаметр ствола, но меньший диаметр кроны в сравнении с кедром корейским. Создание гибридно-семенных плантаций с использованием потомств кедра сибирского и корейского разных экотипов является перспективным. При этом повышается эффективность их прижизненного использования, включая улучшение экологии крупных промышленных центров, а в дальнейшем, с использованием семян, обладающих гетерозисным эффектом, улучшается генотипическая структура искусственно созданных насаждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ирошников, А.И.* О концепции и программе генетического мониторинга популяций лесных древесных растений [Текст] / А.И. Ирошников // Лесоведение. – 2002. – № 1. – С. 58–64.
2. *Крылов, Г.В.* Кедр [Текст] / Г.В. Крылов, Н.К. Таланцев, Н.Ф. Козакова. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 216 с.
3. *Матвеева, Р.Н.* Генетика, селекция, семеноводство кедра сибирского [Текст] / Р.Н. Матвеева, О.Ф. Буторова. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 243 с.
4. *Орлов, Ф.Б.* Опыт разведения кедра сибирского в Архангельской области [Текст] / Ф.Б. Орлов, В.П. Тарабрин. – Архангельск, 1960. – 51 с.

5. Патлай, И.П. Рост и устойчивость сосны в географических культурах второго поколения в Тростянецком лесхозе Сумской области [Текст] / И.П. Патлай // Лесн. журн. – 1974. – № 6. – С.155–160. – (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Щерба (Братилова), Н.П. Один из способов создания гибридно-семенных плантаций кедровых сосен [Текст] / Н.П. Щерба (Братилова), Р.Н. Матвеева // Материалы Краевой науч.-техн. конф. – Красноярск, 1991. – С. 63.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 22.09.05

R.N. Matveeva, O.F. Boutorova, N.P. Bratilova

Propagation of Cedar Pines on Hybrid-seed Orchard in Krasnoyarsk Suburban Zone

The propagation of Siberian and Korean cedars of different geographical provenance is analyzed on the hybrid-seed orchard in the Krasnoyarsk suburban zone. The perspective character of using their progeny is demonstrated for establishing man-made plantations.

УДК 630*432.0

Г.Д. Главацкий, Ю.Т. Цай, В.М. Груманс

Главацкий Григорий Демьянович родился в 1943 г., окончил в 1970 г. Красноярский сельскохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, директор ВНИИПОМлесхоза, академик РАЕН и МАНЭБ. Имеет более 200 печатных работ по проблемам механизации сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, охраны лесов от пожаров.



Цай Юрий Тимофеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Красноярский сельскохозяйственный институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий отделом организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза, академик МАНЭБ. Имеет 140 печатных работ в области механизации сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, охраны труда и безопасности жизнедеятельности лесных пожарных.



Груманс Виктор Михайлович родился в 1951 г., окончил в 1974 г. Красноярский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза. Имеет около 100 печатных работ по проблеме охраны лесов от пожаров.



ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРНЫХ

Составлена общая модель оптимизации мероприятий по безопасности лесных пожарных. Описаны критерии оптимального выбора средств защиты, режимов труда, отдыха, питания людей на тушении лесных пожаров.

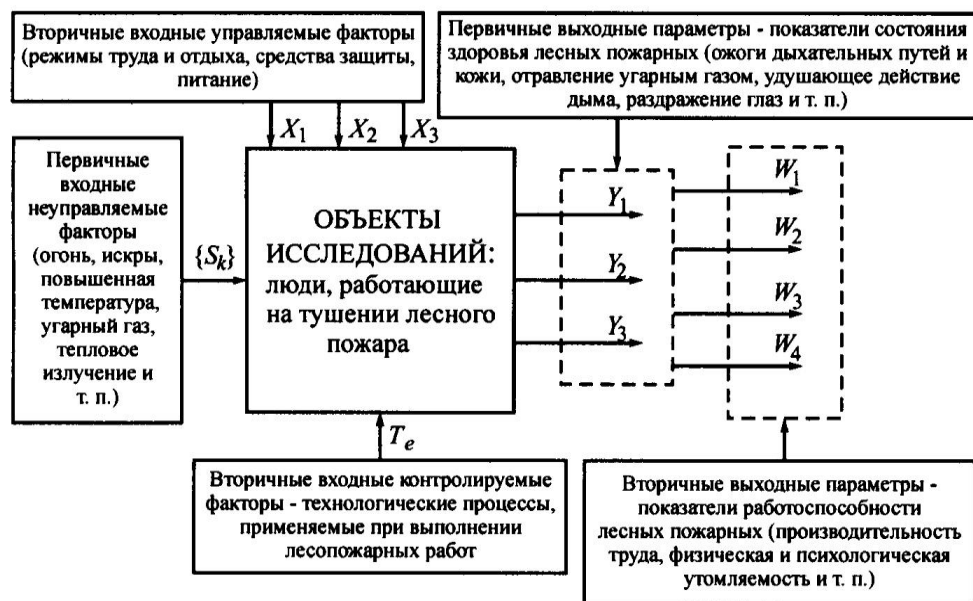
Ключевые слова: мероприятия, безопасность, лесные пожарные, критерии, оптимальность, средства защиты, режимы труда и отдыха, питание.

Основной задачей мероприятий по охране труда и технике безопасности людей, занятых на тушении лесных пожаров, является снижение отрицательного влияния неблагоприятных факторов лесного пожара и окружающей среды (тепловое излучение, прямой контакт с огнем и горящими частицами, высокая температура, задымленность и загазованность, воздействие кровососущих насекомых и т. д.) [2]. Эти факторы являются неуправляемыми (неконтролируемыми) и имеют случайный характер, обозначим их как $\{S_k\}$. К контролируемым факторам относятся технологические процессы, применяемые при выполнении лесопожарных работ и обозначаемые

$\{T_e\}$. Для нейтрализации неблагоприятных факторов или снижения их отрицательного воздействия на физическое и психологическое состояние лесных пожарных должны проводиться мероприятия, заключающиеся в обеспечении пожарных средствами защиты, оптимизации режимов труда и отдыха, суточного рациона питания. Система этих мероприятий обозначается $\{X_i\}$. При этом X_i являются управляемыми факторами, и их выбор – важная задача при организации работ на лесном пожаре. В общем случае факторы X_i представляются как набором дискретных величин, принимающих различные значения, так и функциями от времени (например при формализации режимов труда и отдыха).

При отсутствии мероприятий по охране труда и обеспечению безопасности жизнедеятельности лесных пожарных возможны ожоги дыхательных путей и кожи, отравление угарным газом, удушающее действие дыма, раздражение глаз и т. п. (совокупность этих последствий обозначим $\{Y_m\}$). В результате ухудшается общее самочувствие людей, наступает физическое и психологическое утомление, снижаются работоспособность и производительность труда. Модель объекта исследований представлена на рисунке. Задача оптимизации комплекса мероприятий по охране труда лесных пожарных решается методом системного анализа [4].

2



Модель объекта исследований

Учет влияния используемых средств защиты на состояние здоровья вследствие влияния S_k неблагоприятных факторов при выполнении T_i технологий лесопожарных работ определяется вероятностью его ухудшения, которая выражается долей соответствующих случаев при проведении серии

наблюдений. В качестве критерия оптимальности при выборе средств защиты целесообразно использовать среднюю производительность (W_1) в процессе тушения лесного пожара:

$$W_1(X_1) = \Phi(X_1, S_k, T_l),$$

где $X_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – набор различных типов средств защиты.

В свою очередь, x_i представляет различные варианты (марки) средств защиты данного типа. Например, для защиты органов дыхания могут применяться противогазы, воздушные фильтры, маски и т. п. В общем виде статистическая зависимость показателей ухудшения состояния лесных пожарных по j -му виду отрицательного воздействия может быть представлена следующим образом:

$$Y_j = F_j(X_1, S_j, T_k).$$

Для получения указанных зависимостей помимо экспериментальных данных используется метод экспертных оценок, при котором устанавливается степень снижения работоспособности или ее полная потеря и рассчитывается доля снижения производительности труда [1].

В целях учета влияния организации производственного процесса на работоспособность пожарных введем функцию $X_2(t)$, задающую режим труда и отдыха при тушении лесного пожара. Эта функция принимает значение 1, если лесной пожарный выполняет в этот момент технологическую операцию, и равна 0 в период отдыха, т. е.

$$X_2(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t_{2k-1} \leq t < t_{2k} \\ 0 & \text{при } t_{2k} \leq t < t_{2k+1}, k=1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Задавая различные варианты функции $X_2(t)$, получаем функционал производительности $J_2(X_2(t))$ при выполнении основных операций по тушению лесных пожаров. Для получения значений данного функционала проводятся экспериментальные исследования при различных вариантах режимов труда и отдыха, т. е. при разных реализациях функции $X_2(t)$. В качестве критерия оптимальности принимается средняя производительность (W_2) на тушении пожара:

$$W_2(X_2) = \int_0^T J_2(X_2(t)) dt / T,$$

где T – продолжительность тушения пожара.

При оптимизации режима питания на основе экспериментальных данных устанавливается статистическая зависимость производительности труда (W_3) от времени приема пищи (t_i), калорийности суточного рациона (K_j), состава продуктов (N_k). Эта зависимость в общем виде выражается функционалом

$$W_3(X_3) = J_3(X_3, S_k, T_e), \text{ где } X_3 = (t_i, K_j, N_k).$$

Проведенными исследованиями установлено, что оптимальные решения по каждому виду рассмотренных мероприятий, которые выражаются совокупностью параметров $\{X_{ij}\}$, не зависят друг от друга, поэтому в качест-

ве общего критерия оптимальности системы целесообразно использовать выражение

$$W(X_i) = W_1(X_1) \cap W(X_2) \cap W(X_3).$$

Это означает, что общая задача оптимизации сводится к последовательному решению частных задач оптимизации по отдельным управляемым параметрам [3]. Например, сначала выбираются средства защиты, затем устанавливается порядок и рационы питания лесных пожарных, затем определяются оптимальные режимы труда и отдыха при тушении пожаров.

Каждая из этих задач имеет самостоятельное значение, позволяет установить оптимальные управляемые параметры. Композиция рассмотренных моделей определяет комплекс мероприятий по охране труда и безопасности жизнедеятельности лесных пожарных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1974. – 159 с.
2. Главацкий, Г.Д. Охрана труда и безопасность лесных пожарных [Текст] / Г.Д. Главацкий, Ю.Т. Цай, Л.А. Липина. – Красноярск, 2001. – 158 с.
3. Кузнецов, А.В. Высшая математика: математическое моделирование [Текст] / А.В. Кузнецов, В.А. Сакович, Н.И. Холод. – Мн.: Высш. шк., 1994. – 324 с.
4. Таха, Х. Введение в исследование операций [Текст]: в 2 кн. / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – Кн. 1. – 479 с.; кн. 2. – 496 с.

2*

ФГУ ВНИИПОМлесхоз

Поступила 27.04.05

G.D. Glavatsky, Yu.T. Tsay, V.M. Grumans
**Optimization of Labor Protection and Safety Measures System
for Forest Fire Fighters**

The general model for optimization of safety measures system for forest fire fighters is developed. The criteria for optimal selection of protection means, labor and rest conditions, meals in forest fire extinguishing are described.



УДК 630*116.64

В.Д. Шульга

Шульга Виктор Дмитриевич родился в 1944 г., окончил в 1967 г. Казахский государственный сельскохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского НИИ агролесомелиорации. Имеет более 70 печатных работ в области лесной мелиорации и лесоводства в аридной зоне.



К ОБОСНОВАНИЮ ПРИЕМОВ СОЗДАНИЯ ЗАВЕДОМО УСТОЙЧИВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В СТЕПИ

Освещена проблема недостаточной устойчивости главных древесных пород в степи. Рассмотрены видоспецифические гидрофизические свойства древесины главных пород. Дана оценка успешности приемов создания заведомо устойчивых насаждений.

Ключевые слова: древесина, гидрофизические характеристики, рубки ухода, заведомо устойчивые древостои.

Принятые меры ведения лесного хозяйства не исключают периодического массового усыхания степных лесов и защитных лесонасаждений (ЗЛН), особенно дубрав. По данным Н.П. Калиниченко [6], с 1973 г. по 1998 г. площадь дубрав в Европейско-Уральской части России сократилась на 862 тыс. га, или на 24 %. За 20 лет (1978–1998 гг.) площадь дубрав Ульяновской и Самарской областей и Республики Татарстан уменьшилась соответственно на 43, 34 и 38 %. Отсутствие лесоводственных уходов обесценивает опыт создания около 3 млн га защитных насаждений – государственных, противоэрозионных, полезащитных лесополос. Отмечена крайне низкая эффективность приемов пойменного лесоводства, связанная с ухудшением лесорастительных условий [18]. Однако пока все предложения по улучшению ведения лесного хозяйства не выходят за пределы «своевременного обновления» лесов и ЗЛН. Мы предлагаем приемы формирования заведомо устойчивых (климаксовых) лесов с отложенным на неопределенно долгий срок главным использованием. Основное отличие состоит в эффективной профилактике этиолированности древостоев, стабилизации водного режима ассимиляционного аппарата для обеспечения фотосинтеза [1], увеличении запасов доступной влаги в почве и древесине деревьев будущего, существенном увеличении размера кроны и количества запасных питательных веществ для получения катаболической влаги [9], определении интенсивности рубки по числу оставшихся, а не вырубленных деревьев и формировании заданного (сбежистого) морфологического типа средних деревьев. Цель – создание резервных (многоцелевых) климаксовых старовозрастных лесов.

Сравниваемые пары объектов (ординарные и заведомо устойчивые древостои) подбирали по принципу единственного различия (густоте). Под заведомо устойчивыми, по формулировке К.Ф. Тюрмера [2], или климаксовыми мы понимаем древостои, находящиеся неопределенно долго в устой-

чивом равновесии с условиями окружающей среды, что близко к высказываниям Р. Риклефса [11] и В.Н. Сукачева [15]. Основными физическими характеристиками древесины главных пород нами приняты изотерма капиллярного испарения (ИКИ), потенциал влагопереноса и диапазоны функциональной влаги древесины. ИКИ древесины свежесрубленного дерева рассчитывали по А.Г. Перехоженцеву [10]. Потенциал влагопереноса древесины любого влагосодержания определяли по ИКИ с привлечением опубликованных А. Крафтсом и др. [7] данных о зависимости дефицита диффузии воздуха (синоним потенциала влагопереноса) от его влажности.

За полную влагоемкость (ПВ) древесины и листьев принимали их влажность после полного насыщения образцов под вакуумом до конца барботирования. Лимиты влажности древесины (в долях от ПВ) рассчитывали по аналогии с таковыми для почвы по Е.Н. Романовой [12] и Т.Ф. Рывкиной [13]: благоприятная – 0,8...0,9, достаточная – 0,6...0,8, напряженная – 0,5...0,6 и критическая – 0,3...0,5. Закладку пробных площадей, взятие моделей на ход роста проводили общепринятыми методами. Образцы древесины для изучения гидрофизических свойств отбирали из свежесрубленных здоровых деревьев I–II классов Крафта.

В системе дерево – среда очень хорошо изучены физические характеристики почвы и практически нет данных для древесных пород как капиллярно-пористых коллоидных тел [16]. Гидрофизические свойства живой (свежесрубленной) древесины основных лесообразующих пород видоспецифичны, ИКИ дуба и березы, заболони и ядра существенно различаются (табл. 1). Физические же свойства сухой древесины для всех пород считаются примерно одинаковыми [14].

По ИКИ рассчитывают фундаментальную гидрофизическую характеристику древесины – потенциал влагопереноса в любом диапазоне ее влагосодержания (табл. 2), что определяет древесину как третий видоспе-

Таблица 1

**Изотерма капиллярного испарения древесины свежесрубленного дерева
(в числителе – заболонь, в знаменателе – ядро)**

Древесная порода	Равновесная влажность древесины, % на абс. сухую массу, при относительном давлении пара P/P_s						
	0,14	0,33	0,54	0,77	0,92	0,98	1,00
Дуб	<u>3,9</u>	<u>7,2</u>	<u>10,8</u>	<u>20,8</u>	<u>80,9</u>	<u>121,5</u>	<u>154,0</u>
черешчатый	4,2	7,9	11,5	18,2	45,1	81,3	103,0
Береза повислая	<u>3,8</u>	<u>7,5</u>	<u>12,7</u>	<u>17,9</u>	<u>33,6</u>	<u>130,3</u>	<u>160,0</u>
	3,7	7,7	11,7	17,7	30,1	100,0	150,0
Все породы [14]	3,5	6,6	10,0	15,2	22,2	26,6	–

Примечание. P , P_s – давление пара соответственно при данной влажности воздуха и полном насыщении воздуха влагой.

Таблица 2

Взаимосвязь физических показателей древесины главных пород

Параметры	Дуб черешчатый		Береза повислая	
	Заболонь	Ядро	Заболонь-1	Заболонь-2
Влажность, %				
Потенциал влагопереноса, МПа:				
0	154	103	160	150
-3	119	76	128	97
-8	94	59	68	55
Потенциал влагопереноса, МПа				
Влажность, доля ПВ:				
1,0	0	0	0	0
0,9	-1,0	-1,0	-1,3	-0,6
0,8	-2,0	-2,3	-3,0	-1,8
0,7	-6,0	-4,3	-4,2	-2,0
0,6	-9,4	-8,4	-5,9	-3,9
0,5	-13,5	-9,4	-6,8	-5,6

цифический двигатель влагопереноса – сосущая сила атмосферы одинакова для всех, а корневое давление на порядок меньше.

Помимо названной роли, древесина ствола является резервуаром, демпфером и проводником влаги, хранилищем запасных питательных веществ, из которых в засуху может быть получена катаболическая вода. Значение потенциала влагопереноса древесины при влажности 0,5 ПВ позволяет объективно классифицировать древесные породы по засухоустойчивости: ксерофиты – дуб черешчатый и красный, робиния, вяз приземистый, саксаул; мезофиты – сосна обыкновенная, береза повислая, шелковица белая; гигрофиты – граб обыкновенный, бук восточный. По градиенту давления влаги в древесине определяется направление влагопереноса. В конкретных диапазонах влажности ядро таких пород, как дуб красный, гледичия трехко-

Таблица 3

**Диапазоны функциональной влажности древесины и листьев
(в числителе – заболонь, в знаменателе – ядро)**

Порода	ПВ, %	Функциональная влажность, %			
		благоприятная	достаточная	напряженная	критическая
Дуб черешчатый:					
древесина	<u>154</u> 103	<u>123...139</u> 83...93	<u>92...123</u> 62...82	<u>77...92</u> 52...62	<u>46...77</u> 31...52
листья	260	208...234	156...208	130...156	78...130
Береза повислая:					
древесина	<u>160</u> 150	<u>128...144</u> 120...135	<u>96...128</u> 90...120	<u>80...96</u> 75...90	<u>48...80</u> 45...75
листья	185	147...196	111...147	92...111	56...92

лючковая, ясень обыкновенный, шелковица белая, становится акцептором влаги. Это ограничивает их применение в жестких лесорастительных условиях. Напротив, дуб черешчатый, робиния, ива белая, ясень ланцетный – это

породы-доноры по функции ядра во влагообмене. Заболонь дуба в течение всей вегетации имеет более низкий потенциал влагопереноса по сравнению с ядром, даже когда различия по влажности древесины между ними составляют 25 ... 30 %. Особенности основных гидрофизических характеристик дуба объясняют приуроченность дубрав к почвам тяжелого механического состава и его использование в качестве главной породы в ЗЛН степи. По ИКИ можно рассчитать лимиты функциональной влажности древесины и листьев (табл. 3). Они служат надежной основой экспресс-анализа и прогноза состояния древесных пород.

К настоящему времени мы располагаем основными гидрофизическими характеристиками 15 ... 17 древесных пород, что позволило выделить еще один диапазон влажности древесины – наибольшего благоприятствования росту (0,8 ... 0,9 ПВ). Оказалось, что в этом случае потенциал влагопереноса древесины не превышает –3 МПа для изученных пород. В данном диапазоне влажности влагоперенос в системе растение – среда более гармоничен.

Анализ более 90 таблиц хода роста шести главных лесообразующих пород России в нормальных насаждениях показал достаточно строгое однообразие морфологического типа средних деревьев. Отношение высоты дерева к площади поперечного сечения на таксационном диаметре (комплексный оценочный показатель (КОП), или единичный средний объем ствола дерева) практически одинаково для всех пород по классам возраста (табл. 4).

Это раскрывает алгоритм изменения внешнего вида средних деревьев в нормальных древостоях. По сравнению с заведомо устойчивыми (климаксовыми) лесами, которые в возрасте 20, 30, 50, 70 и 100 лет имеют небольшую густоту и значение КОП соответственно 4,0; 3,5; 3,5; 3,5 и 2,0 см/см², нормальные леса чрезмерно этилированы и потому неустойчи-

Таблица 4

Морфологический тип средних деревьев основных лесообразующих пород в нормальных древостоях I класса бонитета

Главная порода	КОП, см/см ² , в возрасте, лет				
	20	30	50	70	100
Сосна	20,6	12,3	6,8	4,8	3,4
Лиственница	22,9	12,6	7,3	5,0	3,8
Ель	19,9	11,5	6,5	4,4	3,0
Пихта	16,2	11,3	5,7	3,8	2,7
Дуб	22,7	12,6	6,2	3,9	2,5
Береза	22,1	13,4	7,2	5,0	3,7
Среднее для лесов:					
нормальных	20,7	12,3	6,6	4,5	3,2
заведомо устойчивых	4,0	3,5	3,5	3,5	2,0

вы. Заметим, что при указанном соотношении высоты и площади поперечного сечения стволов субклимаксовые молодняки нельзя назвать жердняками, и потому метод создания заведомо устойчивых насаждений из молодняков мы назвали интенсивным безжердняковым, а принцип ведения хозяйства – лесопарковым, климаксовым.

Одним из основных недостатков в современном степном лесоводстве мы считаем отсутствие должного интереса лесоводов к фундаментальной математически доказанной зависимости эффективности фотосинтеза от стабильности оводненности ассимиляционных тканей [1]. Многочисленные исследователи регистрировали существенные колебания влажности листьев, побегов, древесины в течение суток, месяцев, сезонов года в степи, лесостепи и бореальной зоне. Уменьшить колебания влажности, снижающие эффективность фотосинтеза, можно лишь одним способом – увеличить площадь питания до определенных лимитов. Требуемую густоту или площадь питания находят по диаметру крон средних деревьев, равному в заведомо устойчивых насаждениях 50 % длины ствола; в ординарных же древостоях это отношение не превышает 30 ... 35 %.

Правильность лесоводственных уходов все еще устанавливают по таблицам хода роста нормальных древостоев, перманентно загущенных и потому этиолированных и находящихся в стрессовом состоянии. Обратная сторона «нормального» лесоводства – периодическое усыхание, неудовлетворительное санитарное состояние, низкий возраст спелости, невыявленные возможности главных пород и условий роста.

А.В. Гурский [3], В. Желявски [4], В.О. Казарян [5], а также автор настоящей статьи [19] объясняют продолжительность жизни главной породы в степи временем достижения унифицированной высоты или «потолка», что не имеет отношения к старению или долговечности породы. Это свидетельствует о конечности предельной высоты в возрасте естественной спелости. Феномен объясняет причины дрейфа бонитета из высоких в более низкие с возрастом (возраст повышается, а высота остается практически постоянной), показывает пути достижения реальной долговечности, более близкой к биологической. Лимит роста в высоту исчерпан, когда достигается предельная высота капиллярного подъема влаги древесиной ствола. Если же размер кроны в корабельных борах и дубравах, парках и лесопарках, на лесосеменных плантациях, интенсивно и своевременно изреженных ЗЛН больше половины высоты деревьев, то периодический дефицит влаги приведет не к суховершинности, а к безболезненному отпаду мелких ветвей, так как оставшаяся большая часть кроны подпитывается капиллярами древесины, где много запасных питательных веществ – резерва катаболической влаги. После достижения критической высоты дальнейший рост главных пород возможен только в толщину при облигатном снижении густоты древостоя. Это стратегия выживания баобаба, имеющего неограниченные ресурсы по приращению площади питания, при высоте, строго ограниченной климатом.

Выбор участков под создание резервных (климаксовых) лесов достаточно прост, опыт свидетельствует в пользу лучших условий роста. В дре-

востоях I класса бонитета КОП в 1,5 раза меньше, чем в III, и в 2,5 раза, чем в V классе. В высоких бонитетах средние деревья более сбежисты и крупны.

КОП деревьев I класса Крафта соответственно в 2 и 4 раза меньше, чем в III и IV, что в первом приближении объясняет наблюдаемые различия во влажности древесины: по закону Пуазейля масса воды, переносимая по трубке в единицу времени, обратно пропорциональна расстоянию. В нашем случае длина трубки – это длина некоего (виртуального) единичного объема ствола с основанием 1 см^2 и высотой, равной величине КОП, о чем говорит его размерность.

Климаксовые древостои состоят преимущественно из деревьев I и II классов Крафта, так как при интенсивных рубках в один-два приема выбирают деревья низших классов и оставляют только деревья будущего в количестве 250 ... 450 шт./га. Любой довод о преимуществах господствующих деревьев по сравнению с деревьями III–V классов Крафта свидетельствует в пользу климаксовых древостоев. Это превосходство отмечено в литературе: по влажности древесины; массе, влажности и площади хвои; числу шишек; объему среднего дерева; размеру ядра; размеру и объему крон; величине КОП; динамике рангов; смолопродуктивности; числу здоровых деревьев; отпаду; снижению прироста в засуху; отзывчивости на рубки ухода. Могут ли здоровые вековые деревья на опушках (при распаде основной части массивов) многих видов защитных насаждений степи – свидетельство упущенных лесоводами возможностей по созданию устойчивых лесов (80 % здоровых деревьев растет на опушках).

В настоящее время лесоводы обязаны принять «скороспелую», «кубометрическую» стратегию лесопользования, выраженную в основной догме: «Каждый лесной биоценоз должен иметь максимальную в данных условиях и на данном этапе фитомассу» [17]. Другой путь лежит в создании заведомо устойчивых климаксовых резервных лесов государства с крупномерной древесиной и отложенным на неопределенный срок главным использованием. Это обеспечивает духовную связь многих поколений людей при постоянном выполнении лесами разнообразных средообразующих функций [8].

Таким образом, создание заведомо устойчивых (климаксовых) старовозрастных лесов с помощью своевременных интенсивных рубок ухода, изменяющих морфологический облик и биологическую устойчивость деревьев и древостоев, может служить надежной альтернативой принятому лесоводству и лесопользованию на лучшей (15 ... 20 %) части лесного фонда. На оставшейся большей части лесов лесопользование до перехода на многоресурсное останется традиционным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берри, Д.А. Зависимость фотосинтеза от факторов окружающей среды [Текст] / Д.А. Берри, У. Д. С. Даунтон; пер. с англ.; под ред. О. Д. Говинджи // Фотосинтез. – М.: Мир, 1997. – Т. 2. – С. 273–364.

2. *Богачев, А.В.* Закономерности строения роста одновозрастных сосновых и лиственничных насаждений [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02 / А.В. Богачев. – Йошкар-Ола, 1993. – 40 с.
3. *Гурский, А.В.* Основные итоги интродукции древесных растений в СССР [Текст] / А.В. Гурский. – М.; Л.: АН СССР, 1957. – 303 с.
4. *Желявски, В.* Старение растительного организма [Текст]. В 30 т. Т. 27. / В. Желявски // Физиология растений. – 1980. – Вып. 4. – С. 869–879.
5. *Казарян, В.О.* Физиологические аспекты эволюции от древесных к травам [Текст] / В.О. Казарян. – Л.: Наука, 1990. – 348 с.
6. *Калиниченко, Н.П.* Дубравы России [Текст] / Н.П. Калиниченко. – М.: ВНИИЦЛесресурс, 2000. – 536 с.
7. *Крафтс, А.* Вода и ее значение в жизни растений [Текст] / А. Крафтс, Х. Карриер, К. Стокинг. – М.: ИЛ, 1951. – 388 с.
8. *Моисеев, Н.А.* Классификация лесов по целевому назначению и режиму использования [Текст] / Н.А. Моисеев, В.С. Чуенков. – Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2004. – 57 с.
9. *Новицкая, Ю.Е.* Особенности физико-биохимических процессов в хвое и побегах ели в условиях Севера [Текст] / Ю.Е. Новицкая. – Л.: Наука, 1971. – 117 с.
10. *Перехоженцев, А.Г.* Вопросы теории и расчета влажностных соотношений неоднородных участков ограждающих конструкций зданий [Текст] / А.Г. Перехоженцев. – Волгоград: Нижневолж. кн. изд-во, 1997. – 273 с.
11. *Риклефс, Р.* Основы общей экологии [Текст] / Р. Риклефс. – М.: Мир, 1979. – 494 с.
12. *Романова, Е.Н.* Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата [Текст] / Е.Н. Романова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 280 с.
13. *Рывкина, Т.Ф.* Анализ влияния суточного хода испарения на экстремальные значения влажности почв при грунтовой питании [Текст] / Т.Ф. Рывкина // Энерго- и массообмен в среде обитания растений. – Л.: АФИ, 1977. – С. 53–56.
14. *Справочное руководство по древесине* [Текст]. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 544 с.
15. *Сукачев, В.Н.* Избранные труды [Текст]. В 3 т. Т. 3. Проблемы фитоценологии / В. Н. Сукачев; АН СССР. – Л.: Наука, 1975. – 344 с.
16. *Чудинов, Б.С.* Влага в древесине [Текст] / Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. – 270 с.
17. *Швиденко, А.З.* К оценке продуктивности лесов России [Текст] / А.З. Швиденко, В.В. Страхов, С.К. Нильсон // Лесн. хоз-во. – 2000. – № 1. – С. 5–9.
18. *Шульга, В.Д.* Влияние затопленных почв Волго-Ахтубинской поймы на состояние лесов [Текст] / В.Д. Шульга, А.Н. Максимов // Почвоведение. – 1991. – № 1. – С. 105–110.
19. *Шульга, В.Д.* Гидрофизическая мотивация приемов создания заведомо устойчивых древостоев в степи [Текст] / В.Д. Шульга // Лесн. хоз-во. – 2004. – № 2. – С. 28–31.

ВНИАЛМИ

Поступила 17.06.05

V.D. Shulga

On Justification of Ways of Establishing Fully Sustainable Stands in Steppe

The problem of insufficient sustainability of the main forest species in steppe is dealt with. Species-specific hydrophysical characteristics of the main species timber are considered. Assessment of successful methods for establishing fully sustainable stands is provided.

УДК 630*2

В. Ф. Цветков

Цветков Василий Фролович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 300 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, социальной экологии и охраны окружающей среды на Севере.

**ФОРМИРОВАНИЕ НАСАЖДЕНИЙ**

Приведено в систему разнообразие толкований и смысловых нагрузок известного понятия «формирование насаждений».

Ключевые слова: формирование насаждений, параметры динамических процессов, методология прогнозирования «траекторий» развития насаждений.

В лесоводственной науке и практике при рассмотрении динамики лесных сообществ помимо понятий «рост» и «развитие» деревьев и древостоев распространен также термин «формирование насаждений» (ФН). В соответствии с общепринятым толкованием, «формирование» – это обретение предметом, явлением или процессом форм, уровней структурной организации, достижение сообществом биоты тех или иных физических параметров, знаковых габитуальных соотношений составляющих его компонентов и элементов.

За лесоводственным понятием ФН в широком смысле видится очень обширный и достаточно расплывчатый по содержанию пакет закономерно протекающих процессов зарождения, восстановительно-возрастной динамики лесного сообщества, структурной перестройки и усложнения уровней его организации и функционирования; в узком смысле – процесс возникновения, развития и становления устойчивого лесного сообщества с конкретными структурой и строением эдификаторного древесного яруса. При этом лесное сообщество приобретает определенные средообразующие свойства. Здесь, согласно теоретической фитоценологии и лесной экологии, события развиваются по сценариям известных вторичных демулационных сукцессий [1, 13, 20, 31].

Перечисленные критерии динамики лесных сообществ в лесоводственной практике могут быть распространены и на другие случаи восстановительно-возрастных изменений насаждений. Нередко в поле зрения лесоводов оказываются процессы переструктуризации биогеоценоза (БГЦ), включающие перестройку уже сложившихся лесных ценозов. К таким ситуациям можно отнести, по-видимому, процессы направленной антропогенной перестройки существующих естественных и искусственно созданных насаждений под влиянием целевых лесоводственных мероприятий (рубки ухода, реконструкция малоценных насаждений, рубки омоложения, пере-

формирования, ландшафтные и выборочные санитарные рубки старовозрастных насаждений). В той же терминологической системе следует, очевидно, рассматривать закономерности восстановления параметров насаждений на участках между очередными приемами постепенных и выборочных рубок, а также закономерности перестройки лесных БГЦ под влиянием комплекса реконструктивных мер (частичные лесные культуры в малоценных насаждениях, в том числе в сочетании с различными режимами разреживаний).

Частным случаем ФН, наиболее простым по закономерностям ведущих и генерализующих явление процессов, имеющим наибольшее практическое значение в лесоводстве, является формирование производных насаждений после сплошнолесосечных рубок по типу экзодинамических (антропогенных) сукцессий [23].

Непременное свойство ФН – детерминированность его условиями среды и известная предопределенность характеристик биологическими свойствами слагающих популяций. Этому явлению, как и другим биологическим системам, присущи последовательность и упорядоченность, т. е. пространственно-временная организованность.

ФН, как все динамические процессы в лесных экосистемах, обладает диалектически двойственным свойством: континуальности и дискретности. С одной стороны, оно непрерывно, постепенно-поступательно и целно. С другой стороны, его трудно вообразить иначе, как череду последовательных фаз, стадий, морфометрических лесобиологических этапов. ФН в широком эколого-биологическом аспекте – всегда процесс прогрессирующего характера. При всей своей сложности оно не носит черт произвольного, беспорядочного, а предстает событием, в высшей степени целесообразным и рациональным [15, 21, 22, 24, 25]. Формирование насаждений – это явление, интегрирующее важнейшие биологические процессы в лесных сообществах, в том числе рост и развитие.

Генерализованная по всем параметрам «траектория» динамики лесного насаждения образуется в ходе реализации сложного взаимодействия функционирующих биологических и экологических законов: *координации, корреляции и субординации*, непрерывно происходящих в совокупностях индивидуумов, микрогруппировок, групп, ассоциаций, агрегаций и популяций биологических видов в целом [14].

Экологи считают, что на основе закона координации устанавливаются соответствующая структура взаимоотношений между разными экологическими группами популяций, светолюбивыми и теневыносливыми, преобладающей и сопутствующими породами, пространственное размещение подроста, синузальная структура нижних ярусов растительности. В результате координации экологических свойств популяций формируется своеобразная радиационная система насаждения, приобретают динамическую устойчивость балансы тепло- и водообеспеченности.

Сама же процедура, «кинетика» согласования и сбалансирования жизненных процессов, связывающая биогоризонты и элементы биоценоза, реализуются в силу действия законов корреляции. В соответствии с этим

законом стабилизируются и уравниваются взаимосвязи между отдельными совокупностями организмов в сообществах, ярусами, доминантами и содоминантами, устанавливаются наиболее рациональные трофические цепи в лесных сообществах, формируются консортивные блоки и постоянно совершенствуется цепь общего биологического круговорота. Без эволюционно predetermined нацеленности на согласование процессов метаболизма невозможно существование любой биологической системы.

Субординация проявляется в четко выражающихся закономерностях последовательного (во времени, по трофическим и биохимическим цепочкам, а также по элементам морфологической и анатомической структур) прохождения реакций, процессов и взаимодействий. Без согласования функций тканей, органелл, органов, элементов невозможно функционирование ни отдельных организмов, ни системы БГЦ в целом. Например, опыление в генеративном процессе хвойных не начинается раньше вызревания пыльников; терминальные почки на побеге не закладываются до прохождения основной его частью цикла линейного роста и т. п. В силу действия перечисленных законов в лесном сообществе обеспечивается согласование жизненных стратегий популяций разных видов, достигается баланс процессов и явлений в разных компонентах сообщества, поддерживается динамическое равновесие. Механизмом согласования выступают жесткая конкуренция и естественный отбор.

В физическом лесоводственном отношении явление ФН характеризуется теми или иными режимами изменения численности, структуры и состояния популяций участвующих в сообществе видов, изменениями функций организмов и их органов, ритмов важнейших физиологических процессов, периодичности, продолжительности и энергии роста совокупностей деревьев, их органов, других ярусов растительности. ФН присущи определенные перманентная синузальная переструктуризация всех сообществ подраста, подлеска, живого напочвенного покрова, темпы перестройки структурной организации ценоза в целом.

Явление ФН сопровождается закономерными изменениями лесной среды: микроклимата, структуры опада, биологической активности лесной подстилки, емкости и скорости биологического круговорота, состава фауны как наземной, так и почвенной. Вместе с тем некоторые компоненты и свойства экотопа в процессе динамики насаждений остаются практически постоянными или изменяются несущественно и кратковременно. К ним относятся основные свойства почвогрунта, поступление интегральной солнечной радиации, условия рельефа и геологическое основание местообитания.

Итак, ФН представляет собой совокупность процессов последовательной прогрессирующей переструктуризации биоты и экосреды лесных экосистем при сохранении основы экотопа. Имея дело с фитоценозом и напочвенной средой, лесоводы неизбежно сталкиваются с изменениями БГЦ в целом, которые следуют согласно физиологическим законам, адаптационно настроенным и диктуемым комплексом биотических и абиотических экологических факторов в местообитании. Одновременно сообщество по систем-

ному принципу обратной связи по законам эндозоогенеза корректирует, балансирует весомость первичных внешних факторов.

Формально остаются неопределенными временные параметры ФН, поскольку обычно не оговаривается конкретно цель лесовыращивания и остается неясным лесоводственное содержание заключительной стадии явления. В одном случае в это понятие явно вкладывается смысл периода преодоления некоего времени неблагоприятствования, критического в образовании и становлении лесного сообщества. Предполагается, что по завершении этого периода (непременно активной фазы) в лесном сообществе начнется что-то иное, «доразвитие», «дораствание», поспевание древостоя, становление его главной сущности.

Во многих случаях в явление ФН лесоводы включают период лесовозобновления, т. е. весьма сложный и ответственный биолого-фитоценотический процесс возникновения на обезлесенном участке нового начального лесного сообщества как основы будущего полночленного насаждения. Чаще всего этой фазе придается решающее значение.

У лесоводов, специализирующихся в области ухода за лесом, ФН – это прежде всего активное реконструирование структуры и изменение закономерностей роста той или иной части древостоев под воздействием целевой системы разреживаний, преследующей задачи регулирования густоты и соотношения пород. Это реконструирование обычно осуществляется в несколько приемов, сопровождающихся стрессовым «импактным» изменением густоты и усилением роста оставленной части древостоя. Чаще всего охватывается период, включающий первые 2-3 класса возраста, хотя теоретически в него входит время до возраста приспевания.

В некоторых случаях в понятии ФН просматривается более длительный временной период, начиная с лесовозобновления (накопления необходимой численности древесной растительности) и заканчивая процессом поспевания (вызревания урожая древесины). В таких случаях явно мыслится процесс, отчетливо завершаемый, цельный, включающий непременно стадию поспевания древостоя. Здесь ФН почти отождествляется с циклом онтогенеза лесного насаждения и полностью совпадает по времени с понятием «лесовыращивание».

Для устранения разночтений понятия ФН есть смысл уточнить его толкование. Очевидно, что здесь следует учитывать большую совокупность процессов, включающих возникновение и прохождение лесным насаждением (открытой биологической системой) сложной и достаточно интенсивной структурной перестройки, биологических фаз, стадий, этапов, последовательных изменений морфо-биометрических признаков, преодоление ряда критических жизненно ответственных возрастных состояний (периодов), приобретение определенной динамической устойчивости и надежных предпосылок вхождения в завершающий этап поспевания (продукционный, средообразующий и репродуктивный). Временные рамки явления ФН должны ограничиваться периодом наиболее интенсивно протекающих процессов структуризации и динамики основных параметров строения древостоя. В

простых, относительно одновозрастных древостоях затухание дифференциации и относительной стабилизации параметров приходится на возраст приспевания, которым, как известно, завершаются все рекомендуемые лесоводством приемы разреживаний – ухода за древостоями, реальные и оправданные экономически возможности управления конкретной «траекторией» лесовыращивания. И тогда *ФН – это комплекс процессов возникновения и восстановительно-возрастной динамики лесного БГЦ, характеризующийся определенной упорядоченностью и последовательностью этапов, фаз, изменений морфометрических показателей, структурной организации всех компонентов и строения эдификаторного древесного яруса и завершающийся хозяйственным приспеванием древостоя.*

Существенно расширяется понимание явления ФН в свете представлений об «едином лесообразовательном процессе» [3–6, 17, 18]. Справедливость сформулированного и развиваемого в конкретике известными учеными взгляда на историко-генетический аспект динамики лесного покрова подтверждает правомерность рассмотрения ФН на любом (в принципе) из этапов онтогенеза лесных экосистем, в том числе в период поспевания древостоя, т. е. и на дигрессивной ветви.

Всесторонне взвешивая разнообразие представлений о рассматриваемом явлении, предлагается за понятиями «*формирование насаждений*» и «*перестроение насаждений*» закрепить конкретное содержание. Первое предлагается распространять на все природные и хозяйственно управляемые (рубки ухода, реконструкции и т. п.) процессы возникновения и развития производных насаждений с момента их зарождения до возраста хозяйственного приспевания. Все процессы и мероприятия, имеющие целью изменить естественное развитие насаждений за рамками их приспевания, предлагается относить ко второй категории. В комплексе понятий ФН следует различать естественные генетико-динамические ряды и образуемые при целевом вмешательстве человека – формирование насаждений посредством уходов за лесом и приемами его реконструкций.

Известна широкая амплитуда восстановительно-возрастных траекторий ФН после сплошных рубок [4, 7, 10, 19, 26, 27 и др.]. В так называемых вторичных лесах исключительно изменчивы закономерности смен пород, динамики породного состава и соотношения пород в пологе. Существенны и значимы на хозяйственном уровне различия в ходе роста древостоев. Это разнообразие требует расширения арсенала приемов по содействию формированию насаждений, повышению их ценности и продуктивности, эффективности лесовыращивания. Именно с учетом генезиса формирования насаждений следует выбирать наиболее эффективные (прежде всего менее затратные) режимы лесовыращивания, в том числе целевого.

Атрибутика явления ФН, включающая его предмет, терминологию и методологию, не менее сложна, чем сама его дефиниция. Могут рассматриваться самые разные этапы развития лесных насаждений (стадии и периоды единого лесообразовательного процесса). Отечественные лесоводственные наука и практика сегодня располагают огромным багажом информации о

закономерностях изменения показателей структуры и роста эдификаторного яруса. В поле интересов лесоводов, изучающих ФН, попадают также многочисленные другие случаи, включая перестройку структуры и свойства древостоев после пожаров, ветровалов, буреломов разной интенсивности. Явления переструктуризации изучены значительно слабее, хотя они не менее важны.

Исключительная широта предмета рассмотрения существенно затрудняет установление круга понятий и критериев, оценку их физического содержания, требует уточнения толкования некоторых терминов. К числу главных критериев относятся ведущие показатели динамики лесных сообществ: *период лесовозобновления, скорость и направление изменений состава пород, соотношения фитосоциальных статуса и структуры преобладающей и сопутствующих пород, хозяйственно-функциональных категорий и категорий взаиморасположения, темпы изменения средних высот, толщин деревьев разных пород и фитосоциальных классов, полноты или сомкнутости полога, показателей строения древостоев. В числе последних изменения статистических показателей рангов, рядов распределения деревьев по ступеням крупности, соотношения среднего и текущего приростов (возраст количественной спелости).* Практически этот перечень включает полный набор понятий лесоводственно-таксационного арсенала.

Специфическими критериями явления ФН выступают такие, как *соотношение между годом рубки и пожаром, давностью рубки исходного насаждения и возрастом преобладающей породы, возрастными преобладающей и сопутствующей, главной и второстепенной пород.* Важными показателями при рассмотрении формирования насаждения являются типы возрастной структуры участвующих пород и их динамика. Специфические критерии ФН (технология, система машин, сезон работ, культура производства и т. п.) относятся к начальным этапам возникновения лесных сообществ. Они зависят от лесохозяйственной ситуации, складывающейся в конкретном типе лесорастительных условий в результате определенного приема рубки исходного древостоя и обуславливают специфику генетико-динамических рядов восстановительно-возрастных изменений лесных сообществ, т. е. *разных типов формирования насаждений (ТФН) [28–30].*

Генерализующий вклад в определение ТФН на участке сплошной вырубki вносят «остатки» исходного биогеоценоза, связанные с характером воздействия лесозаготовительной техники на природные параметры местообитания. Разнообразие стартовых ситуаций возобновительной сукцессии дают сочетания конкретных лесоводственных, лесоэкологических (почвенно- и напочвенно-лесорастительных) условий местообитаний. Многое решается наличием подроста, обеспеченностью семенниками. Имеют значение жизненные стратегии популяций, обитающих и вселяющихся видов луговой и лесо-луговой растительности, в том числе популяций пионерных древесных пород.

Исходной точкой при определении обособленного динамического ряда ФН являются *хозяйственная группа или категория вырубki, установ-*

ливаемые по соотношению перечисленных лесоводственных факторов. Сочетание последних наилучшим образом позволяет лесоведам прогнозировать характерный возобновительный процесс как определенный тип морфогенеза. Хотя подобные, логистического характера конструкции факторов лесовозобновления обозначают более широкие понятия, чем фактическое гиперпространство экологической ниши конкретной вырубки, все же они значительно уже содержания, представляемого сегодня термином «тип вырубки». То есть разрешающая способность прогнозирования «хозяйственной группы» и «категории рубок» существенно выше, чем у типа вырубки по И.С. Мелехову [11, 12].

При выявлении закономерностей возникновения начального лесного сообщества в научных и познавательных целях не обойтись без использования целого ряда геоботанических, экологических и фитоценологических понятий (сукцессия, микрогруппировка, ассоциация, агрегация, ценопопуляция, синузия, парцелла, фитогенное поле, адаптация, конкуренция, устойчивость, биоразнообразие и т. п.). Известны также такие понятия рассматриваемого явления, как фитомасса, структура фитомассы (насаждения в целом, древостоя и отдельных его элементов), предельный возраст и возрастная структура хвой, листовой индекс, степень (балл) дефолиации, индекс состояния дерева и древостоя и т. п.

В силу свойственной лесным экосистемам самоорганизации и нацеленности на прогрессирующее направление развития, ФН после рубок или пожаров на начальных этапах означает стохастическое усложнение структурной организации, строения древостоев. На начальных этапах оно сопровождается также повышением биологического разнообразия лесных сообществ, главным образом за счет вселения нелесных видов. Последующее же развитие простых лесных насаждений, как свидетельствуют исследования [2, 8, 9, 16 и др.], будет сопровождаться определенным упрощением строения и снижением биоразнообразия до уровня, свойственного сообществам – аналогам коренных биогеоценозов в стадии так называемого *климакса*. Переломный период в развитии однопородных и одновозрастных древостоев совпадает, как известно, с началом этапа жердняка, когда дифференциация деревьев начинает затухать.

Уточнение некоторых понятийных аспектов и наполнение конкретным физическим и смысловым содержанием понятия ФН позволит с большей определенностью использовать атрибутику явления как в исследованиях, так и в практическом лесоводстве. Представляется возможность более объективно оценивать лесоводственную и хозяйственную эффективность лесовыращивания, на более достоверном уровне и более корректно сопоставлять варианты хозяйствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова, В.Д.* Изучение смен растительного покрова [Текст] / В.Д. Александрова // Полевая геоботаника. Т. 3. – Л., 1964. – 222 с.

2. *Загребев, В.В.* Типизация и стандартизация естественных рядов роста древостоев [Текст] / В.В. Загребев // Лесн. хоз-во. – 1976. – № 11. – С. 69–74.
3. *Ивашкевич, Б.А.* Дальневосточные леса и их промышленная будущность [Текст] / Б.А. Ивашкевич. – Хабаровск, 1933.
4. *Колесников, Б.П.* Генетическая классификация типов леса и ее задачи на Урале [Текст] / Б.П. Колесников // Вопросы классификации растительности: тр. Ин-та биологии УФ АН СССР. – Свердловск, 1961. – Вып. 27. – С. 9–39.
5. *Колесников, Б.П.* Генетический этап в лесной типологии и ее задачи [Текст] / Б.П. Колесников // Лесоведение. – 1974. – № 2. – С. 3–20.
6. *Колесников, Б.П.* Кедровые леса Дальнего Востока [Текст] / Б.П. Колесников // Тр. Дальневост. филиала АН СССР. Сер. биол. Т. 2 (4). – М.; Л., 1956.
7. *Колесников, Б.П.* Применение таксационно-статистического метода и генетической классификации типов леса для изучения продуктивности лесов [Текст] / Б.П. Колесников, Е.М. Фильрозе // Лесоведение. – 1967. – № 4. – С. 16–25.
8. *Корзухин, М.Д.* Синэкология леса [Текст] / М.Д. Корзухин, Ф.Н. Семевский. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 184 с.
9. *Макаренко, А.А.* О причинах динамики строения древостоев [Текст] / А.А. Макаренко // Лесоведение. – 1972. – № 6. – С. 11–21.
10. *Маслаков, Е.Л.* Классификация вырубков и естественное лесовозобновление сосновых лесов среднетаежной подзоны равнинного Зауралья [Текст] / Е.Л. Маслаков, Б.П. Колесников // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1968. – Вып. 1. – С. 246–279.
11. *Мелехов, И.С.* Лесоведение и лесоводство [Текст] / И.С. Мелехов. – М.: МЛТИ, 1970. – 148 с.
12. *Мелехов, И.С.* Основы типологии вырубок [Текст] / И.С. Мелехов // Основы типологии вырубок и ее значение в лесном хозяйстве. – Архангельск, 1959. – С. 5–33.
13. *Ниценко, А.А.* Растительная ассоциация и растительное сообщество как первичные объекты биогеоценотических исследований [Текст] / А.А. Ниценко. – Л.: Наука, 1971. – 184 с.
14. Основы геоэкологии [Текст]. – Л.: ЛГУ, 1994. – 410 с.
15. *Разумовский, С.М.* Закономерности динамики биогеоценозов [Текст] / С.М. Разумовский. – М.: Наука, 1981. – 232 с.
16. *Смирнов, Н.Т.* Формирование сосновых и сосново-березовых насаждений [Текст] / Н.Т. Смирнов, А.А. Макаренко. – Алма-Ата, 1973. – 187 с.
17. *Смолоногов, Е.П.* Классификация лесорастительных условий и типы леса Лозьвинского Урала [Текст] / Е.П. Смолоногов, В.А. Кирсанов, П.В. Трусков // Проблемы типологии и классификации лесов: тр. Ин-та экологии растений и животных. – Свердловск, 1972. – С. 72–102.
18. *Смолоногов, Е.П.* Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса [Текст] / Е.П. Смолоногов // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург, 1995. – Вып. 18. – С. 18–23.
19. *Соловьев В.М.* Формирование смешанных молодняков в Приишимских борах [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.М. Соловьев. – Свердловск, 1966. – 26 с.
20. *Спурр, Барнес.* Лесная экология [Текст] / Спурр Барнес; пер. с англ.; под ред. С.А. Дыренкова. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 382 с.

21. Сукачев, В.Н. Динамика лесных биогеоценозов [Текст] / В.Н. Сукачев // Основы лесной биогеоценологии / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. – М.: АН СССР, 1964. – С. 458–486.
22. Сукачев, В.Н. К вопросу о развитии растительности [Текст] / В.Н. Сукачев // Ботан. журн. – 1952. – Т. 37, № 4. – С. 496–507.
23. Сукачев, В.Н. Некоторые общие теоретические вопросы фитоценологии [Текст] / В.Н. Сукачев // Проблемы ботаники. – М.; Л.: АН СССР, 1954.
24. Факторы регуляции экосистем еловых лесов [Текст] / под ред. В.Г. Карпова. – Л.: Наука, 1983. – 380 с.
25. Уткин, А.И. Рецензия на книгу «Мозаично-циклическая концепция экосистем» [Текст] / А.И. Уткин; под ред. Г. Реммерта // Лесоведение. – 1992. – № 5. – С. 74–75.
26. Цветков, В.Ф. Направления лесовозобновительных процессов на вырубках в сосняках Кольского полуострова [Текст] / В.Ф. Цветков. // Тез. докл. к науч. сес. Арханг. ин-та леса и лесохимии за 1971 год. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1972. – С. 5–8.
27. Цветков, В.Ф. О направлениях процессов формирования сосновых молодняков на Кольском полуострове [Текст] / В.Ф. Цветков // Естественная среда и биологические ресурсы Крайнего Севера. – Л.: РГО, 1975. – С. 55–64.
28. Цветков, В.Ф. Система хозяйства в сосновых лесах Мурманской области [Текст] / В.Ф. Цветков – Архангельск: АИЛиЛХ, 1983. – 27 с.
29. Цветков, В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них [Текст] / В.Ф. Цветков. – Архангельск, 2002. – 380 с.
30. Цветков, В.Ф. Типы формирования насаждений на сплошных вырубках в сосняках Мурманской области [Текст] / В.Ф. Цветков // Лесоведение. – 1986. – № 3. – С. 10–18.
31. Шенников, А.П. Введение в геоботанику [Текст] / А.П. Шенников. – Л.: Наука, 1969. – 448 с.

3*

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 12.10.05

V.F. Tsvetkov

Formation of Plantations

Diversity of interpretation and semantic loads of a well-known notion “formation of plantations” is provided.

УДК 630*2

А.В. Грязькин

Грязькин Анатолий Васильевич родился в 1951 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных работ по проблемам лесовосстановления, рационализации хозяйственной деятельности в лесу, изучению структуры и динамики лесных экосистем, углеродного баланса в лесных биогеоценозах.



РАЦИОНАЛЬНАЯ ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЗОБНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рассмотрено влияние основных видов хозяйственной деятельности на лесные экосистемы. Особое внимание уделено стимулированию возобновительного потенциала таежных фитоценозов с помощью лесохозяйственных мероприятий. Показаны пути и способы сокращения сроков лесовыращивания и уменьшения антропогенной нагрузки на всех этапах воспроизводства лесов.

Ключевые слова: лесная экосистема, возобновление, рубки, комплексный уход, осушение.

Хозяйственная деятельность в лесу – мощный фактор воздействия на природные экосистемы. Самые значительные изменения в их развитии вызывают рубки главного пользования. Наиболее эффективным путем регулирования взаимоотношений в системе лес – человек является рационализация лесопользования с учетом потенциальных возможностей самой экосистемы. Важное место занимает вопрос о сохранении молодняков хозяйственно ценных пород, сформировавшихся естественным путем.

В научных публикациях последних десятилетий все чаще высказывается мнение о том, что наиболее устойчивы естественные лесные фитоценозы [8, 11, 12, 14 – 17, 20]. Это подтверждается и материалами международных конференций, из которых следует, что гибнут в первую очередь леса искусственного происхождения, монокультуры, особенно еловые.

Особенности лесовозобновления после сплошных рубок. Основной способ заготовки древесины в России – сплошная рубка леса. При несоблюдении лесоводственных устоев она стала основной причиной нежелательной смены пород на всей территории таежной зоны. Результаты обследования вырубок показывают, что независимо от географических условий, типа леса и применяемой технологии сплошная рубка приводит к резкому изменению условий, следствием чего является зарастание вырубок лиственными породами, задернение или заболачивание.

Состав молодняков на вырубке связан, в первую очередь, с составом материнского древостоя. Установлено, что после рубки осинников естественно возобновляется на вырубках любого типа преимущественно осина, а

доля ели подроста не превышает 10 %. После рубки ельников черничного типа леса формируются молодняки с преобладанием березы, но доля ели возрастает до 20 ... 30 %. Аналогичная закономерность проявляется и по лесорастительным зонам. В южной тайге молодняки на вырубках представлены в основном осиною, в северной – березой, а доля ели в составе подроста в 1,5–2,0 раза выше, чем в средней и южной.

После рубки лиственно-еловых древостоев и рубки без сохранения подроста формируются молодняки с преобладанием лиственных пород, требующие полного цикла рубок ухода. При рубках главного пользования в ельниках с сохранением подроста потребность в рубках ухода снижается, так как средняя высота и доля ели в составе молодняков больше, чем после рубки лиственно-еловых древостоев.

Ход роста молодняков на вырубке и динамика возрастной структуры во многом определяются их составом и густотой. На вырубках, где в составе молодняков преобладает осина, практически нет последующего возобновления ели, что вызвано образованием плотной подстилки из опавших листьев и густой поросли осины.

При рубках главного пользования подрост в ельниках черничного типа леса повреждается меньше, чем в кисличных, где средняя полнота древостоев выше. Экспериментально установлено, что при одинаковой полноте сомкнутость полога в ельниках-черничниках ниже, чем в кисличниках, т. е.

в первом случае меньше средний диаметр кроны, а следовательно, и повреждаемость подроста при валке деревьев.

При относительной полноте древостоев до 0,6 и густоте подроста до 1 тыс. шт./га рекомендуется сплошная рубка. Основным способ лесовосстановления – создание лесных культур. Исключением являются вырубки площадью до 2-3 га, по периметру которых располагаются деревья репродуктивного возраста. Здесь естественное лесовозобновление возможно за счет подроста последующего возобновления.

В молодняках с преобладанием лиственных пород, формирующихся после сплошной рубки лиственно-еловых древостоев, особенно в кисличном типе леса, процесс лесовыращивания более трудоемкий и дорогостоящий по сравнению с вариантом несплошных рубок (см. рисунок).

Особенности возобновления ели после постепенных рубок. Подрост под пологом материнского древостоя – основа для формирования будущих древостоев. Самые высокопродуктивные ельники таежной зоны, сохранившиеся до возраста главной рубки, возникли за счет естественного возобновления, следовательно, сохранение подроста при проведении рубок главного пользования целесообразно как с экономической, так и с экологической точек зрения. Эффективное решение этой задачи возможно за счет постепенных рубок, о чем свидетельствуют многочисленные опытные и производственные рубки, проведенные в разное время [6, 13, 23, 24].

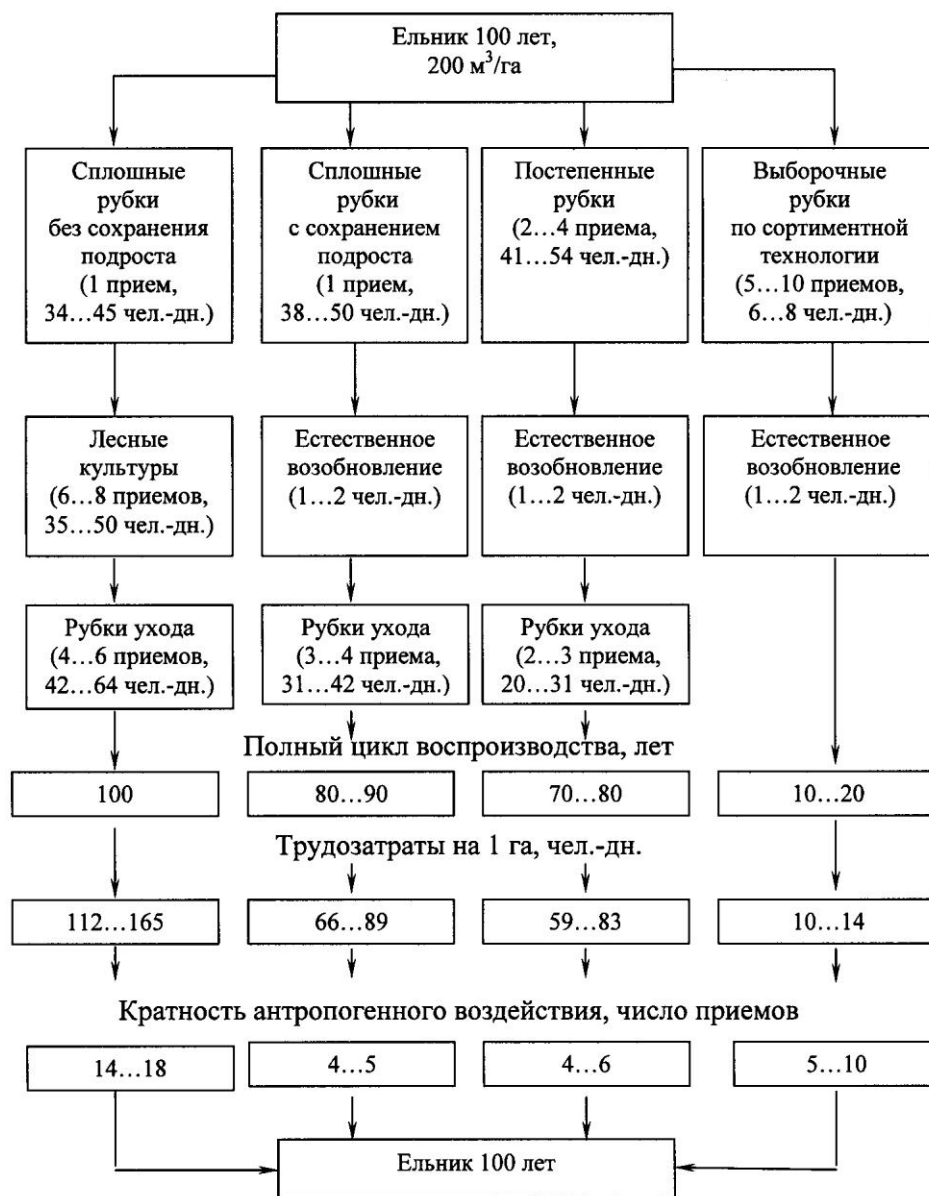
Доля ели в составе молодняков, сформировавшихся после постепенных рубок, достигает 33...78 %, а густота 12 тыс. шт./га. При таких услови-

ях необходимость в рубках ухода уменьшается, кроме этого, исключается смена пород, сокращается цикл воспроизводства ельников, уменьшаются трудозатраты и антропогенная нагрузка на лесные экосистемы (см. рисунок).

Крупный подрост ели при рубках повреждается больше, чем средний и мелкий. Молодняк в куртинах страдает меньше. В целом доля поврежденного подроста при постепенных рубках зависит от их интенсивности и сроков повторяемости, состава древостоев, ширины трелевочных волоков и пасек, способа трелевки и сезона рубки. При валке осины подрост повреждается сильнее, чем при валке березы и ели. С увеличением доли осины в составе древостоев от 1 до 6 единиц количество поврежденного подроста ели возрастает в 1,5 – 2,0 раза.

Под влиянием рубок главного пользования происходят изменения в составе и структуре растительности всех ярусов. Благодаря большой густоте подроста ели и его интенсивному росту степень задернения вырубков после постепенных рубок меньше, чем после сплошных. Участки с полным или частичным задернением приурочены к парцеллам с преобладанием подроста березы и без подроста и подлеска.

Несплошные рубки рекомендуются при высокой полноте древостоев, независимо от густоты подроста. Они позволяют сократить срок лесовыращивания на период, равный среднему возрасту сохраненного подроста.



Интенсивность антропогенного воздействия на лесную экосистему за полный цикл воспроизводства в условиях южной тайги

При этом участок леса продолжает выполнять биосферные функции. Процесс лесовыращивания упрощается. Постепенные и выборочные рубки дают возможность исключить нежелательную смену пород и максимально сократить затраты на воспроизводство лесов. Кроме этого, выборочная форма хозяйства позволяет сохранять биологическое разнообразие, устойчивые виды и формы растений.

Значение рубок ухода для воспроизводства ельников. Известно, что к возрасту рубок главного пользования крупный подрост ели в условиях южной тайги имеет средний возраст 20 ... 35 лет. Следовательно, старшая генерация подроста, которая сохраняется до главной рубки, закладывается раньше на 1-2 класса, поэтому рубки ухода (последний прием) прямо или косвенно влияют на ход естественного возобновления.

Этот процесс мы детально изучали на 30 пробных площадях (ПП), объединенных в 11 серий. Долгосрочные опыты заложены еще в 1929–1931 гг. на территории нескольких областей Северо-Запада России. Подробная характеристика объектов в начальный период наблюдений и в последующие годы приведена в ряде работ [4, 5, 7, 10, 18, 19].

Регулярные рубки ухода, проводившиеся на этих стационарных объектах, показали, что в кисличном типе леса они вызывают бурное разрастание подлеска. В ельниках черничных этого не происходит. На секциях, где к моменту последней рубки ухода доля березы в составе древостоев была больше, густота подлеска из рябины оказалась наименьшей. Другим подтверждением подавления рябины служит структура подлеска на контрольных секциях, где он в основном средний и мелкий, а доля крупного высотой более 1,5 м не превышает 10 %.

На секциях без рубки подлесок из рябины не образует сомкнутого полога, освещенность здесь в 3–8 раз выше, чем на опытных. Следствием этого является увеличение густоты подрост ели до 4 ... 7 тыс. шт./га. На всех участках с рубками образовался сомкнутый полог из рябины. Через него проникает всего 1 ... 3 % света. В парцеллах с густым подлеском нет не только подрост ели, но и живого напочвенного покрова. Густота подрост ели здесь варьирует от 0,1 до 3,0 тыс. шт./га.

Материалы, полученные на участках с рубками ухода, позволяют сделать вывод, что в ельниках черничных рубки ухода стимулируют естественное возобновление, в кисличных вызывают бурное развитие подлеска, что затрудняет возобновительный процесс. Сохраняя определенную долю лиственных пород в составе древостоев, можно избежать разрастания подлеска и в дальнейшем сократить затраты на лесовыращивание. Чтобы сохранить подрост под пологом чистых древостоев и создать оптимальные условия для его успешного роста, необходимо удалять (изреживать) подлесок: при полноте древостоев 0,7 и выше полностью, до 0,6 – частично.

Влияние интенсивных рубок ухода на состояние молодняков. В разные годы на территории Лисинского лесхоза, в опытных хозяйствах «Сиверский лес» (Ленинградская область) и «Могутовский лес» (Псковская область) проведены интенсивные рубки ухода с полным удалением примеси лиственных пород [4, 9]. Первостепенное значение имели сроки их проведения. Сплошное удаление лиственных пород недопустимо до того момента, пока ель не «уйдет» из зоны, в которой повреждение заморозками наиболее опасно (от 0,5 до 1,5 ... 2,0 м).

После рубок ухода при общем положительном результате возникают и негативные моменты. Верхушечный побег мелкого и среднего подрост в

отдельные годы побивается заморозками. У 12 % отобранных моделей в год обследования не сформировался верхушечный побег, при этом подрост выше 2 м оказался неповрежденным. Из-за обильной поросли осины ухудшились условия существования для мелкого подроста.

На вырубках 6–10-летней давности рубки ухода проведены преждевременно, о чем можно судить по показателям роста на опытных участках, осветленных с интервалом в 2 года. Протяженность кроны преждевременно осветленной ели часто достигает 100 %, что в будущем может повлиять на технические свойства древесины и качество сортиментов.

Наилучшие результаты получены на участках, где интенсивные рубки ухода проведены в более поздние сроки (через 11 ... 31 год после главной рубки). Исключением служат ельники черничного типа леса, где удаление лиственных пород привело к заболачиванию почвы и снижению темпов роста ели.

Судя по соотношению основных характеристик молодняков с преобладанием ели в составе, интенсивные рубки ухода целесообразно проводить через 25 ... 30 лет после рубок главного пользования. Важным признаком для определения времени проведения ухода в молодняках является соотношение средних высот хвойных и лиственных пород. Если оно больше 1:2, хвойные начинают испытывать угнетение. Отсюда вытекает простое правило: формирование молодняков необходимо начинать под пологом материнского древостоя. При этом можно избежать нежелательной смены пород, сократить сроки и уменьшить затраты на воспроизводство ельников, т. е. стать на путь рационального ведения хозяйства.

Значение комплексного ухода для лесовозобновления. Известно, что комплексный уход повышает продуктивность и качество древостоев, ускоряет сроки получения ценных сортиментов. Побочный результат комплексного ухода – содействие естественному лесовозобновлению. Наиболее характерными оказались ельники. В кисличном типе леса данный эффект проявляется меньше, чем в черничном. Ход естественного возобновления ели изучали на трех ПП в ельниках-черничниках. ПП 1 контрольная. На ПП 2 рубки проводили дважды, в 1974 и в 1984 гг., интенсивностью соответственно 23 и 19 %. Удобрения не вносили. На ПП 3 рубки проводили в те же сроки, что и на ПП 2, интенсивностью 30 % в 1974 г. и 18 % в 1984 г. Дополнительно в 1974, 1979 и 1986 гг. на этой ПП вносили азотные удобрения с разовой дозой 150 кг/га по д. в. Цикл рубок ухода и внесения удобрений начат в 47-летнем древостое. Итоговые результаты получены через 20 лет. Различия характеристик подроста на всех ПП существенны. Густота подроста ели в контроле 2,4, на участке с комплексным уходом 24,6 тыс. шт./га, что на 20 % больше, чем на ПП 2. Следовательно, наиболее эффективная мера содействия естественному лесовозобновлению – внесение удобрений в сочетании с рубками ухода [3].

Влияние осушения и рубок на естественное возобновление. На бедных верховых торфяниках значительная часть как старых, так и молодых деревьев характеризуется ослабленным ростом. Поэтому

представляют интерес результаты опытных рубок по улучшению состояния древостоев на осушенном верховом торфянике. Сведения об объекте имеются в ряде работ [1, 2, 22].

Получены интересные результаты по состоянию естественного возобновления. Опытные и контрольные участки различаются как по густоте, так и по структуре подроста. Для ПП серии Б (очес мощностью 40 ... 50 см, подстилаемый переходным торфом) характерно обилие подроста березы (около 12 тыс. шт./га). На ПП других серий его густота на порядок меньше, причем на опытных участках береза господствует, а на контрольных ее доля не превышает 24 % (при густоте менее 500 шт./га). На ПП всех серий преобладает нежизнеспособный подрост.

Восстановление главной породы естественным путем отмечается на всех ПП, однако в контроле очень высока доля сухого подроста (от 22 до 98 %), а средний возраст ниже. Характер распределения подроста по группам высот и категориям состояния указывает на существенные различия между сериями ПП. Однако есть и общие особенности, одна из них – незначительная доля жизнеспособного подроста сосны на всех ПП (не более 25 %).

Иначе обстоит дело с подростом ели. Несмотря на небольшую численность он в основном жизнеспособен, а по высоте – мелкий и средний. Ель растет быстрее, чем сосна. Например, в 13 лет подрост ели достигает высоты 150, а лучшие экземпляры сосны лишь 80 см.

Выводы

Рациональная хозяйственная деятельность позволяет экономить материальные и денежные средства, существенным образом снизить нагрузку на лесные экосистемы и полнее использовать их возобновительный потенциал.

После сплошной рубки лиственно-еловых древостоев формируются молодняки с преобладанием лиственных пород, которые требуют полного цикла рубок ухода, особенно в кисличном типе леса. В результате проведения постепенных рубок доля ели в составе молодняков может достигать 78 %. Следовательно, они позволяют исключить нежелательную смену пород и сократить затраты на воспроизводство ельников.

Мероприятия по содействию естественному лесовозобновлению необходимо начинать при последних приемах рубок ухода. Полное удаление лиственных пород при первом уходе за лесом целесообразно, но не ранее, чем через 20 ... 30 лет после рубки главного пользования.

Комплексный уход – эффективная мера содействия естественному лесовозобновлению. Сочетание рубок ухода с внесением удобрений вызывает 10-кратное увеличение густоты подроста уже через 10 ... 15 лет.

Осушение и рубки улучшают возрастную структуру и состояние фитоценозов. Густота подроста, его состав и состояние зависят от трофности почвы и интенсивности хозяйственного воздействия. На осушенном верхо-

вом торфянике формируются условия, более благоприятные для подроста ели, чем для сосны и березы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабилов, Б.В.* Сток и испарение с осушенных лесных болот [Текст] / Б.В. Бабилов // Влияние осушительной сети на водный режим и рост леса. – Л.: ЛТА, 1970. – С. 28–39.
2. *Грязькин, А.В.* Влияние хозяйственных мероприятий на структурные элементы лесных биогеоценозов [Текст] / А.В. Грязькин, А.П. Смирнов. – М.: ВИНТИ, 1997. – 74 с.
3. *Грязькин, А.В.* Естественное возобновление ели на участках, пройденных комплексным уходом [Текст] / А.В. Грязькин, Е.С. Мельников // Лесн. журн. – 1995. – № 2-3. – С. 195–197. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Грязькин, А.В.* Экологические факторы регулирования возобновительных свойств таежных ельников [Текст]: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.В. Грязькин. – Сыктывкар, 1998. – 46 с.
5. *Давыдов, А.В.* Рубки ухода за лесом [Текст] / А.В. Давыдов. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 180 с.
6. *Кравчинский, Д.М.* Лесовозращение [Текст] / Д.М. Кравчинский. – СПб., 1883. – Ч. 1 и 2.
7. *Кузнецов, Е.Н.* Влияние рубок ухода на возрастную динамику ельников южной тайги [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е.Н. Кузнецов. – СПб.: ЛТА, 1994. – 20 с.
8. *Кузнецова, В.Г.* Выборочная форма хозяйства в разновозрастных ельниках [Текст] / В.Г. Кузнецова // Лесн. хоз-во. – 1986. – № 6. – С. 26–30.
9. *Максимов, В.Е.* Интенсивный уход в искусственных еловых молодняках [Текст] / В.Е. Максимов, В.М. Степанов // Восстановление леса на северо-западе РСФСР: сб. науч. тр. ЛенНИИЛХ. – Л., 1978. – С. 48–51.
10. *Мельников, Е.С.* Целевые программы рубок ухода в сочетании с внесением удобрений в высокопродуктивных ельниках южной подзоны тайги [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е.С. Мельников. – Л.: ЛТА, 1990. – 20 с.
11. *Мерзленко, М.Д.* К вопросу распада искусственных насаждений ели [Текст] / М.Д. Мерзленко // Науч. тр. Моск. лесотехн. ин-та. – 1990. – № 234. – С. 79–82.
12. *Негруцкий, С.Ф.* Корневая губка [Текст] / С.Ф. Негруцкий. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 198 с.
13. *Орлов, М.М.* Об основах русского государственного лесного хозяйства [Текст] / М.М. Орлов. – Петроград, 1918. – 132 с.
14. *Писаренко, А.И.* Глобальное управление бореальными лесами: целесообразность или неизвестность [Текст] / А.И. Писаренко // Устойчивое развитие бореальных лесов: тр. VII ежегод. конф. МАИБЛ. – М.: Федеральная служба лесн. хоз-ва России, 1997. – С. 3–16.
15. *Побединский, А.В.* Воспроизводство лесов на вырубках тайги [Текст] / А.В. Побединский // Лесоведение. – 1986. – № 5. – С. 3–9.
16. *Побединский, А.В.* Лесоводственная оценка смены коренных лесов тайги производными [Текст] / А.В. Побединский // Лесн. хоз-во. – 1991. – № 11. – С. 19–22.

17. *Побединский, А.В.* Сравнительная оценка естественных и искусственных лесов [Текст] / А.В. Побединский // Лесн. хоз-во. – 1986. – № 5. – С. 28–32.
18. *Сеннов, С.Н.* Рубки ухода за лесом [Текст] / С.Н. Сеннов. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 160 с.
19. *Сеннов, С.Н.* Уход за лесом: экологические основы [Текст] / С.Н. Сеннов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 127 с.
20. *Сеннов, С.Н.* Экологическая оценка смены еловых лесов мягколиственными [Текст] / С.Н. Сеннов, А.В. Грязькин, В. Сибунма // Изв. С.-Петерб. лесотехн. академии. – СПб: ЛТА, 1997. – Вып. 5. – С. 18–24.
21. *Синицын, С.Г.* Рациональное лесопользование [Текст] / С.Г. Синицын. – М.: Агропромиздат, 1987. – 333 с.
22. *Смирнов, А.П.* Причины различной эффективности гидромелиорации верховых болот [Текст] / А.П. Смирнов // Лесн. хоз-во. – 1986. – № 2. – С. 32–35.
23. *Солнцев, З.Я.* Воспитание широколиственных пород под еловым пологом [Текст] / З.Я. Солнцев, О.Т. Ефимова // Тр. Всесоюз. заоч. лесотехн. ин-та. – Л., 1959. – Вып. 5. – С. 47–52.
24. *Тихонов, А.С.* Лесоводственные основы различных способов рубки леса для возобновления ели [Текст] / А.С. Тихонов. – Л.: ЛГУ, 1979. – 247 с.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

A.V. Gryazkin

Rational Economic Activity as Way of Regeneration of Forest Ecosystems Potential

Influence of the main types of economic activity on forest ecosystems is considered. Special attention is paid to simulation of regeneration potential for taiga phytocenosis with the help of forestry measures. The ways and methods of reducing forest growing period and decreasing the anthropogenic load at all steps of forest reproduction are shown.





УДК 630*375.4

В.И. Варава, В.П. Антипин, Е.Н. Власов, Г.В. Каршев, А.П. Токин

Варава Владимир Иванович родился в 1933 г., окончил в 1961 г. Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 100 печатных работ в области динамики машин.



Антипин Валерий Петрович родился в 1938 г., окончил в 1965 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования специальных лесных машин С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 100 печатных работ в области динамики и энергетики двигателей и лесопромышленных машин.



Власов Евгений Николаевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования специальных лесных машин С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ в области динамики и энергетики лесопромышленных машин и робототехники.



ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ТРАКТОРА ТБ-1

Получены аналитические выражения, учитывающие взаимосвязь энергозатрат трактора с его конструктивными параметрами и характеристиками микрорельефа лесосек и волоков. Вычислены и построены частотные характеристики касательной силы тяги, часового расхода топлива, затрат мощности.

Ключевые слова: лесопромышленный трактор, энергозатраты, частотные характеристики.

Отечественные лесопромышленные тракторы (ЛПТ), работающие в лесной отрасли, создавались в то время, когда приоритетными были их производительность, надежность и в меньшей мере экономичность. В наши дни, в связи с ростом цен на углеводородное топливо, остро стоит задача снижения энергозатрат ЛПТ при заданных уровнях производительности и надежности. Ее решение возможно благодаря совершенствованию конструкции ЛПТ с оптимальными энергозатратами на всех режимах работы и минимальной динамической нагруженностью узлов и агрегатов.

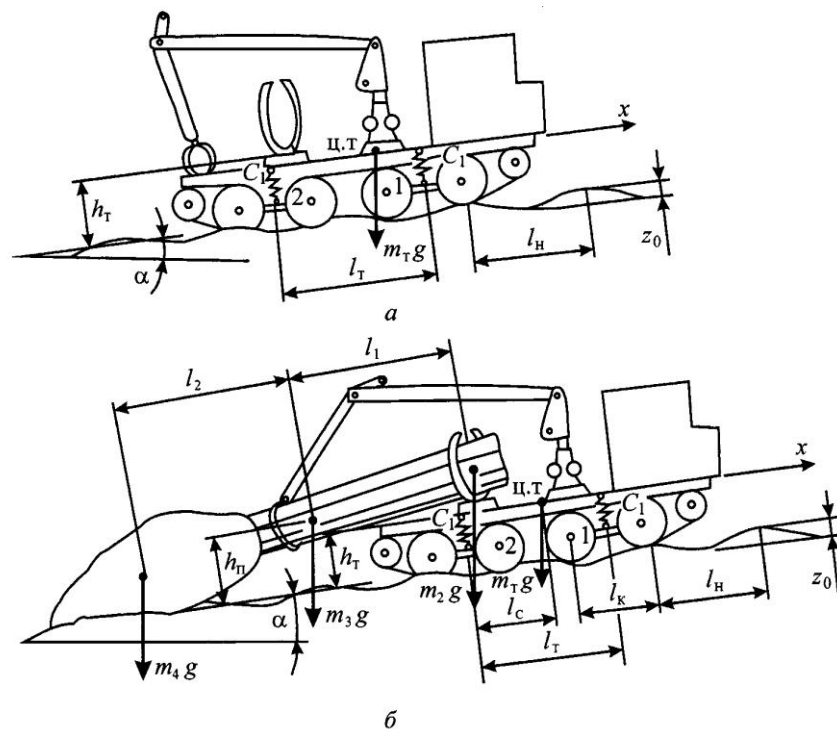


Рис. 1. Расчетные схемы трактора ТБ-1: а – в режиме холостого хода; б – в режиме грузового хода

На примере трактора ТБ-1 рассмотрим процесс энергозатрат в режимах холостого и грузового ходов (рис. 1). Известны выражения*:

– часового расхода топлива

$$B = 3,6 q_{ц} \omega_{к.в} i_{д} / \pi \tau_{д}; \quad (1)$$

– цикловой подачи топлива

$$q_{ц} = \pi \tau_{д} M_e / \eta_e H_u i_{д}; \quad (2)$$

– эффективной мощности

$$N_e = M_e \omega_{к.в}; \quad (3)$$

– эффективного крутящего момента

$$M_e = P_k R / i_T \eta_m, \quad (4)$$

где $\omega_{к.в}$ – угловая скорость вращения коленчатого вала;

$i_{д}, \tau_{д}$ – количество цилиндров и тактность двигателя соответственно;

η_e – эффективный КПД двигателя;

H_u – низшая теплота сгорания топлива;

P_k – касательная сила тяги;

* Крутов, В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект [Текст] / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.

R – радиус ведущей звездочки;

i_T – передаточное число трансмиссии;

η_M – КПД трансмиссии и двигателя, $\eta_M = \eta_T \eta_{дж}$.

Касательная сила тяги (P_k):

– в режиме холостого хода

$$P_{k.x} = m_T g \left\{ \sin \alpha + f_{т.к} \left[\frac{1}{l_T} (l_c \cos \alpha - h_T \sin \alpha) + \left(1 - \frac{l_c}{l_T} \right) \cos \alpha + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{h_T}{l_T} \sin \alpha \right] \right\} + m_T \frac{dv}{dt} + f_{т.к} \frac{1}{i_T} Q_{в.х}(t); \quad (5)$$

– в режиме грузового хода

$$P_{к.г} = g[(m_T + m_{п}) \sin \alpha + f_{т.к} \left(\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + \\ + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_{п}) \frac{dv}{dt} + f_{т.к} \frac{1}{i_T} Q_{в.г}(t). \quad (6)$$

В формулах (5), (6) и на рис. 1 m_T , $m_{п}$ – масса трактора и пачки хлыстов соответственно; $m_2 g$ – сила тяжести части пачки хлыстов, размещенной на конике; $m_3 g$ – сила тяжести пачки хлыстов; $m_4 g$ – сила тяжести кроны пачки; $f_{т.к}$ – коэффициент сопротивления качению трактора; $f_{т.с}$ – коэффициент сопротивления скольжению кроны; v – скорость движения трактора; $Q_{в.х}(t)$, $Q_{в.г}(t)$ – динамические составляющие нагрузки от вертикальных колебаний остова трактора в режиме холостого и грузового хода с пачкой хлыстов; t – текущее время; l_c – расстояние от центра тяжести трактора до центра тяжести пачки деревьев, находящихся на конике; l_T – межосевое расстояние трактора; l_1 – расстояние от центра тяжести пачки до центра тяжести части пачки деревьев, находящихся на конике; l_2 – то же до центра тяжести кроны; $h_{п}$, h_T – высота центра тяжести пачки хлыстов и трактора соответственно.

Выразим скорость движения трактора v через частоту вращения колнчатого вала n : $v = \pi R n / (30 i_T)$. Решая совместно (1), (2), (4)–(6), находим выражения часового расхода топлива (B):

– в режиме холостого хода

$$B_{x.x} = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \left\{ \frac{m_T g R}{i_T \eta_M} \left[\sin \alpha + f_{т.к} \left(\frac{1}{l_T} (l_c \cos \alpha - h_T \sin \alpha) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \left(1 - \frac{l_c}{l_T} \right) \cos \alpha + \frac{h_T}{l_T} \sin \alpha \right] + \frac{m_T R}{i_T} \frac{dn}{dt} + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_{в.х}(t) \right\} n(t); \quad (7)$$

– в режиме грузового хода

$$B_{г.х} = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \left\{ \frac{R g}{i_T \eta_M} [(m_T + m_{п}) \sin \alpha + f_{т.к} \left(\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + \right. \\ \left. + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_{п}) \frac{R}{i_T} \frac{dn}{dt} + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_{в.г}(t) \right\} n(t). \quad (8)$$

Решая совместно (3), (5) и (3), (6), находим выражения затрат эффективной мощности (N_e):

– в режиме холостого хода

$$N_{ex} = \frac{\pi R m_T}{30 i_T \eta_M} \left\{ g [\sin \alpha + f_{т.к} \left(\frac{1}{l_T} (l_c \cos \alpha - h_T \sin \alpha) + \right. \right. \\ \left. \left. + (1 - \frac{l_c}{l_T}) \cos \alpha \right) + \frac{h_T}{l_T} \sin \alpha] + \frac{dn}{dt} n(t) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_{в.х}(t) n(t); \right. \quad (9)$$

– в режиме грузового хода

$$N_{ег} = \frac{\pi R g}{30 i_T \eta_M} [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + \\ + f_{т.с} m_4] n(t) + \frac{\pi}{30} (m_T + m_n) \frac{R n(t)}{i_T} \frac{dn}{dt} + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_{в.г}(t) n(t). \quad (10)$$

Динамические составляющие нагрузки $Q_b(t)$ с учетом только вертикальных колебаний остова трактора (с пачкой хлыстов и без нее) определяют, решая систему уравнений Лагранжа II рода, записанных в операторной форме.

В режиме холостого хода

$$\begin{pmatrix} m_1 S^2 + \beta S + c & m_{21} S^2 \\ m_{12} S^2 & m_2 S^2 + \beta S + c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_0^k z_0 \omega^2 (m_1 + m_{21} e^{-s\tau}) z_n(S) \\ k_0^k z_0 \omega^2 (m_{12} + m_2 e^{-s\tau}) z_n(S) \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Решая систему уравнений (11), получаем

$$Q_{в.х}(S) = \frac{0,5 c k_0^k z_0 m_T \omega^2}{\Delta(S)} \left[\frac{I_c}{l^2} S^2 + \delta_1 (\beta S + c) + \delta_2 (\beta S + c) \right] e^{-s\tau}, \quad (12)$$

где $\Delta(S) = \frac{I_c m_T}{l^2} S^4 + [(m_1 + m_2) c + \beta^2] S^2 + c^2 + \beta S [(m_1 + m_2) S^2 + c] S^2$ ($S = j\omega$;

$j = \sqrt{-1}$; ω – частота колебания нагрузки на ведущей звездочке);

β – параметр демпфирования;

c – параметр суммарной жесткости четырех опорных пружин, $c = 4c_1$;

k_0^k – коэффициент жесткости кареток, $k_0^k = \cos \frac{\pi l_k}{l_H}$ (l_k – расстояние

между осями каретки; l_H – расстояние между неровностями участка пути);

z_0 – высота неровностей участка пути трактора;

I_c – момент инерции трактора относительно главной центральной оси инерции;

$z_n(S)$ – функция неровности пути, записанная в операторном виде;

l – расстояние от центра тяжести трактора до центра тяжести кроны,
 $l = l_1 + l_2$.

$$\delta_1 = 1 - \frac{\Delta l}{2l}; \quad \delta_2 = 1 + \frac{\Delta l}{2l}; \quad m_1 = \frac{1}{2} \left(m_T \delta_1^2 + \frac{I_c}{l^2} \right); \quad \tau = \frac{l_K}{v};$$

$$m_2 = \frac{1}{2} \left(m_T \delta_2^2 + \frac{I_c}{l^2} \right); \quad m_{21} = m_{12} = \frac{1}{2} \left(m_T \delta_1 \delta_2 + \frac{I_c}{l^2} \right); \quad \omega = \frac{2\pi v}{l_H}.$$

В режиме грузового хода

$$\begin{pmatrix} m_5 \omega^2 - 2c & m_6 \omega^2 & 0 \\ m_6 \omega^2 & (m_5 + 4m_2) \omega^2 - 2c & 4m_n \omega^2 \\ 0 & -m_n \omega^2 & -m_3 \omega^2 + S\beta_3 + c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (m_5 + m_6) e^{-st} z_0 \omega^2 \\ [m_6 + (m_5 + 4m_2) e^{-st}] z_0 \omega^2 \\ m_n e^{-st} z_0 \omega^2 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где $m_5 = m_T + I_c/l_T^2$; $m_6 = m_T - I_c/l_T^2$.

Решая систему уравнений (13), получаем

$$Q_{B,T}(\omega) = 8c_1 \kappa_0^k z_0 \omega^2 \times$$

$$\times \left[\frac{B^2 + D^2 + 2BD}{(-a_0 \omega^6 + a_2 \omega^4 - a_4 \omega^2 + a_6)^2 + (a_1 \omega^4 - a_3 \omega^2 + a_5)^2 \omega^2 \beta_3^2} \right], \quad (14)$$

где β_3 – параметр демпфирования пачки хлыстов, $\beta_3 = 0,14\sqrt{c_3 m_3}$ (c_3 – жесткость пачки хлыстов);

$$B = m_5 m_n^2 \omega^4 + m_T (c_3 - m_3 \omega^2) \left[\frac{I_c}{l_T^2} + \frac{m_2 m_5}{m_T} - c \right];$$

$$D = m_6 m_n^2 \omega^4 + 2m_n^2 \omega^2 \left(c - \omega^2 \frac{I_c}{l_T^2} \right) +$$

$$+ (c_3 - m_3 \omega^2) \left[\left(\frac{I_c}{l_T^2} \omega^2 - c \right) (m_T + 2m_2) + 2m_2 m_6 \omega^2 \right].$$

$$a_0 = -4m_n^2 m_5 + (m_5^2 - m_6^2 + 4m_2 m_5) m_3;$$

$$a_2 = c(m_2 m_5 + 2m_2 m_3 - 2m_4^2) + c_3(m_5^2 - m_6^2 + 4m_2 m_5);$$

$$a_4 = c[c_3(m_5 + 2m_2) + c m_3]; \quad a_6 = c^2 c_3;$$

$$a_1 = m_5^2 - m_6^2 + 4m_2 m_5; \quad a_3 = c(m_5 + 2m_2); \quad a_5 = c^2.$$

В целях сокращения объема излагаемого материала опустим промежуточные вычисления, связанные с приращениями во времени выражений (5)–(10) и их записи в операторном виде, с помощью преобразования Лапласа. Запишем выражения сразу в виде передаточных функций:

– касательной силы тяги в режиме холостого хода:

$$W_{x.x}(S) = \frac{P_{к.х}(S)}{z_H(S)} = \frac{m_T g}{S} \{ \sin \alpha + f_{т.к} [\frac{1}{l_T} (l_c \cos \alpha - h_T \sin \alpha) + (1 - \frac{l_c}{l_T}) \cos \alpha + \frac{h_T}{l_T} \sin \alpha] \} + m_T \frac{\pi R}{30 i_T} S U_{x.x}(S) + f_{т.к} \frac{1}{i_T} \Theta_{б.х}(S); \quad (15)$$

– то же в режиме грузового хода:

$$W_{г.х}(S) = \frac{P_{к.г}(S)}{z_H(S)} = \frac{g}{S} [(m_T + m_{п}) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_{п}) \frac{\pi R}{30 i_T} S U_{г.х}(S) + f_{т.к} \frac{1}{i_T} \Theta_{б.г}(S); \quad (16)$$

– часового расхода топлива в режиме холостого хода:

$$G_{x.x}(S) = \frac{B_{x.x}(S)}{z_H(S)} = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \{ \frac{m_T R g}{i_T \eta_M} [\sin \alpha + f_{т.к} (\frac{1}{l_T} (l_c \cos \alpha - h_T \sin \alpha) + (1 - \frac{l_c}{l_T}) \times \cos \alpha + \frac{h_T}{l_T} \sin \alpha)] U_{x.x}(S) + \frac{m_T R}{i_T} (n_0 S + \Phi) U_{x.x}(S) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} \Theta_{б.х}(S) U_{x.x}(S) \}; \quad (17)$$

– то же в режиме грузового хода:

$$G_{г.х}(S) = \frac{B_{г.х}(S)}{z_H(S)} = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \{ \frac{R g}{i_T \eta_M} [(m_T + m_{п}) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] U_{г.х}(S) + \frac{(m_T + m_{п}) R}{i_T} (n_0 S + \Phi) U_{г.х}(S) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} \Theta_{б.г}(S) U_{г.х}(S) \}; \quad (18)$$

– затрат мощности в режиме холостого хода:

$$H_{x.x}(S) = \frac{N_{ex}(S)}{z_H(S)} = \frac{\pi R m_T}{30 i_T \eta_M} \{ g [\sin \alpha + f_{т.к} (\frac{1}{l_T} (l_c \cos \alpha - h_T \sin \alpha) + (1 - \frac{l_c}{l_T}) \cos \alpha + \frac{h_T}{l_T} \sin \alpha)] + (n_0 S + \Phi) \} U_{x.x}(S) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} \Theta_{б.х}(S) U_{x.x}(S); \quad (19)$$

– то же в режиме грузового хода:

$$H_{г.х}(S) = \frac{N_{ег}(S)}{z_H(S)} = \frac{\pi R g}{30 i_T \eta_M} [(m_T + m_{п}) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] U_{г.х}(S) + \frac{\pi R (m_T + m_{п})}{30 i_T} (n_0 S + \Phi) U_{г.х}(S) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} \Theta_{б.г}(S) U_{г.х}(S). \quad (20)$$

Здесь $\Theta_{б.х}$, $\Theta_{б.г}$ – передаточные функции вертикальных колебаний остова трактора в режиме холостого хода и в режиме грузового хода с пачкой хлыстов соответственно,

$$\Theta_{б.х}(S) = \frac{Q_{б.х}(S)}{z_H(S)}; \quad \Theta_{б.г}(S) = \frac{Q_{б.г}(S)}{z_H(S)};$$

$$\Phi = \frac{dn}{dt} \Big|_{t=0} = \text{const};$$

$$U_{x.x}(S) = \frac{n_{x.x}(S)}{z_n(S)} = \frac{k_d(T_2^2 S^2 + 2T_2 \xi_1 S + 1)}{(T_{1x} S + 1)(T_3^2 S^2 + 2T_3 \xi_2 S + 1)(T_4 S + 1)};$$

$$U_{r.x}(S) = \frac{n_{r.x}(S)}{z_n(S)} = \frac{k_d(T_2^2 S^2 + 2T_2 \xi_1 S + 1)}{(T_{1r} S + 1)(T_3^2 S^2 + 2T_3 \xi_2 S + 1)(T_4 S + 1)},$$

где k_d – коэффициент передачи двигателя;

T_{1x}, T_{1r} – постоянные времени трактора в режимах холостого и грузового хода с пачкой хлыстов,

$$T_{1x} = \frac{\pi}{30} (I_d + m_t) \frac{R^2}{i_t^2} \frac{n_n^2}{N_{en}}; \quad T_{1r} = \frac{\pi}{30} [I_d + (m_t + m_n)] \frac{R^2}{i_t^2} \frac{n_n^2}{N_{en}};$$

I_d – приведенный момент инерции подвижных частей двигателя;

N_{en}, n_n – номинальные мощность и частота вращения коленчатого вала;

T_2, T_3, T_4 – постоянные времени;

ξ_1, ξ_2 – коэффициенты демпфирования.

Двигатель СМД-18Н имеет следующие характеристики: $T_2 = 0,531$ с; $T_3 = 0,398$ с; $T_4 = 0,354$ с; $\xi_1 = 0,30$; $\xi_2 = 0,25$; $\Phi = 450$ с⁻¹; $I_d = 2,4$ кг·м²; $k_d = 1,8$ (Н·м·с)⁻¹.

В соответствии с установленными аналитическими выражениями и исходными конструктивными данными для трактора ТБ-1 были вычислены его частотные характеристики. В качестве примера для режима холостого хода на рис. 2 и грузового с пачкой хлыстов на рис. 3 представлены результаты расчетов при движении трактора на третьей передаче на подъем $\alpha=10^\circ$:

а) амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) касательной силы тяги, разложенная по составляющим, соответствующим: 1 – спектру неровности пути; 2 – колебаниям частоты вращения двигателя; 3 – вертикальным колебаниям остова трактора; 4 – суммарная АЧХ касательной силы тяги;

б) частотная характеристика часового расхода топлива, разложенная по составляющим, соответствующим: 1 – колебаниям частоты вращения двигателя; 2 – вертикальным колебаниям остова трактора; 3 – суммарному расходу топлива от всех составляющих;

в) частотная характеристика затрат мощности, разложенная по составляющим, соответствующим: 1 – колебаниям частоты вращения двигателя; 2 – вертикальным колебаниям остова трактора; 3 – суммарной мощности от всех составляющих.

Из анализа частотных характеристик следует:

– в режиме холостого хода (рис. 2) собственные частоты колебаний частоты вращения коленчатого вала $2,5$ с⁻¹ и остова трактора $3,0$ с⁻¹ фактически совпадают, создавая динамическую нагруженность в трансмиссии до 40 кН, увеличивая расход топлива 16,54 кг/ч и затраты мощности 48,3 кВт дополнительно на 0,8 кг/ч в статике и 14 кВт – в динамике;

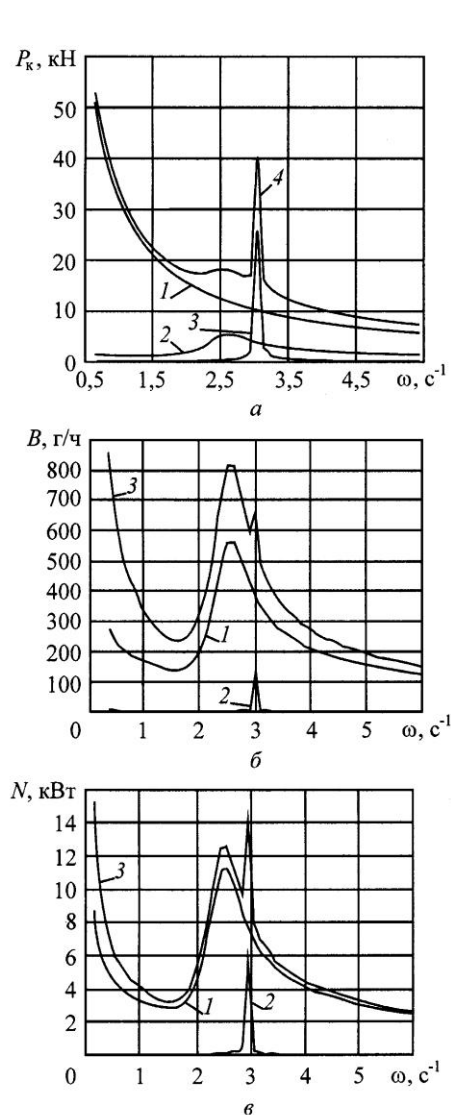


Рис. 2. Частотные характеристики ТБ-1 в режиме холостого хода

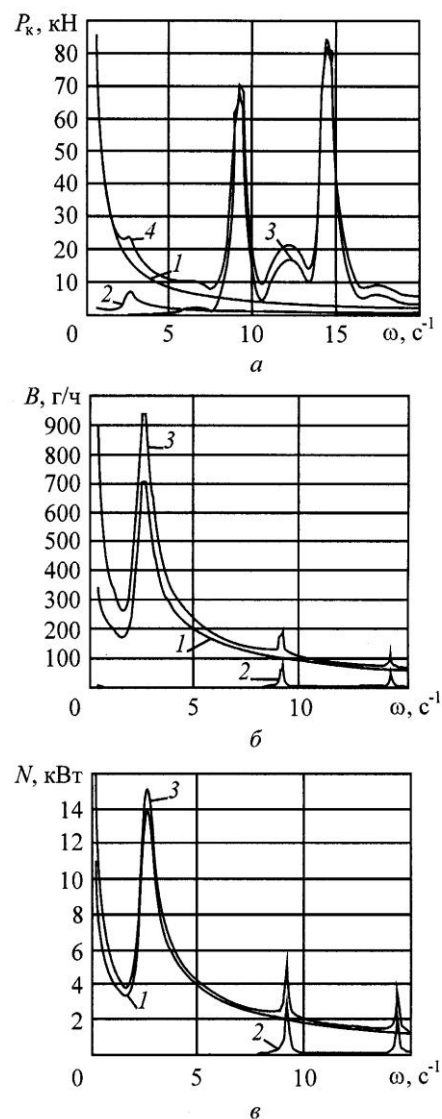


Рис. 3. Частотные характеристики ТБ-1 в режиме грузового хода

– в режиме грузового хода (рис. 3) собственные частоты двигателя $2,5 \text{ с}^{-1}$ и остова трактора с пачкой хлыстов составляют $9,0$ и $14,5 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в трансмиссии при этих частотах равна соответственно 75 и 85 кН . Дополнительные расход топлива и затраты мощности при частоте $2,5 \text{ с}^{-1}$ составляют $0,95 \text{ кг/ч}$ и 15 кВт , при частотах $9,0$ и $14,5 \text{ с}^{-1}$ – $0,18$ и $0,12 \text{ кг/ч}$, $5,3$ и $4,0 \text{ кВт}$ дополнительно к расходу топлива $18,47 \text{ кг/ч}$ и затратам мощности $65,7 \text{ кВт}$ в статике.

Выводы

1. На перемещение трактора в режиме холостого хода затраты топлива превышают 17,34 кг/ч, мощности – 62,3 кВт; в режиме грузового хода – 18,77 кг/ч и 75,0 кВт, т. е. на выполнение полезной работы затрачивается мощность 12,7 кВт, топливо – 1,43 кг/ч.

2. Построенная математическая модель энергозатрат лесопромышленного трактора позволяет на стадии проектирования определять, анализировать и снижать динамическую нагруженность в трансмиссии, часовой расход топлива и затраты мощности двигателя.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Национальный транспортный университет, г. Киев
Поступила 08.06.06

V.I. Varava, V.P. Antipin, E.N. Vlasov, G.V. Karshev, A.P. Tokin

Power Inputs of TB-1 Tractor

The analytical expressions are produced taking into account the interrelation of TB-1 tractor power inputs with its design factors and microrelief characteristics of logging sites and runs. The frequency characteristics are calculated and drawn up for tangential force, fuel hourly consumption, power consumption.

УДК 630*377.4

С.С. Сеницын

Сеницын Сергей Сергеевич родился в 1947 г., окончил в 1970 г. Брянский технологический институт, доцент кафедры механизации лесной промышленности и лесного хозяйства Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 60 печатных трудов в области теории взаимодействия колесных машин с опорной поверхностью.



ОБОСНОВАНИЕ СИЛОВОЙ ПЕРЕДАЧИ КОЛЕСНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Проанализированы энергетические показатели процесса взаимодействия пневматического колеса в ведомом и свободном режимах с деформируемой опорной поверхностью. Аналитически обоснован рациональный тип силовой передачи колесных лесотранспортных машин.

Ключевые слова: транспортная машина, силовая передача, колесо, грунт, энергозатраты.

Отличительной чертой колесных лесотранспортных машин (форвардеры, лесовозные автомобили) является применение многоприводных ходовых систем. Это усложняет структуру системы трансмиссия – движитель, что ставит ряд новых задач в прогнозировании качества машин на стадии их конструирования. Одна из них – обоснование оптимального варианта схемы привода к колесам, обеспечивающей минимальные энергозатраты на передвижение, являющиеся общепризнанным критерием совершенства мобильных машин.

В настоящее время энергетическое обоснование конструктивных вариантов машин дается в основном лишь на уровне сопоставимости потерь в силовой передаче от кинематического несоответствия и совершенно игнорируется влияние режима качения колес на энергозатраты в площади их контакта с опорной поверхностью. Поэтому необходим исчерпывающий теоретический анализ энергетических характеристик системы трансмиссия – движитель – опорная поверхность, чтобы обосновать вариант привода колес, обеспечивающий минимум энергозатрат на передвижение. Для этого следует сопоставить потери мощности на качение колес в ведомом и свободном режимах. Целесообразно проанализировать энергоемкую и трудноопределяемую составляющую энергозатрат на вертикальную деформацию грунтов (колееобразование).

Для решения поставленной задачи используем зависимости, отражающие влияние конструктивных и эксплуатационных параметров системы движитель – опорная поверхность на потери энергии при работе в ведомом [1] и свободном [2] режимах. Согласно работе [1], где использована алгебраическая сумма проекций сил на ось X колеса, для ведомого колеса имеем

$$P_{f_r}^0 = \frac{cbh_r^{\mu+1}}{h_0^\mu(\mu+1)}$$

или

$$N_{f_r}^0 = P_{f_r}^0 \omega_k r_k^0 = \frac{cbh_r^{\mu+1}}{h_0^\mu(\mu+1)} \omega_k r_k^0, \quad (1)$$

где c , μ – параметры грунта (c – Па, μ – безразмерный);

b – условный эквивалент ширины шины, м;

h_r – глубина колеи, м;

h_0 – базовая деформация грунта, м;

ω_k – угловая скорость вращения колеса, c^{-1} ;

r_k^0 – радиус качения колеса в ведомом режиме, м.

Используя из [2] формулу для определения работы колееобразования, полученную на основе алгебраической суммы моментов сил относительно оси Y колеса, а именно

$$A = \frac{4\pi\sqrt{\pi}bch_r^{\mu+2}}{h_0^\mu(\mu+1)} \frac{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}, \quad (2)$$

определяем вид зависимости для фиктивной силы сопротивления качению колеса в свободном режиме:

$$P_{f_r}^c = \frac{A}{2\pi r_k^c} = \frac{2\sqrt{\pi}bch_r^{\mu+2}}{r_k^c h_0^\mu(\mu+1)} \frac{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}. \quad (3)$$

Тогда мощность колееобразования

$$N_{f_r}^c = P_{f_r}^c v = P_{f_r}^c \omega_k r_k^c = \frac{2\pi bch_r^{\mu+2}}{h_0^\mu(\mu+1)} \omega_k \frac{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}, \quad (4)$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция для соответствующего параметра;

r_k^c – радиус качения колеса в свободном режиме;

v – скорость качения колеса.

Соотношение энергоемкостей колееобразования ведомого и свободного колес оценим показателем k_N :

$$k_N = \frac{N_{f_r}^0}{N_{f_r}^c}. \quad (5)$$

Подставляя значения $N_{f_r}^0$ и $N_{f_r}^c$, после некоторых преобразований получаем

$$k_N = \frac{N_{f_r}^0}{N_{f_r}^c} = \frac{bch_{\Gamma}^{\mu+1}\omega_{\kappa}r_{\kappa}^0}{h_0^{\mu}(\mu+1)} \frac{h_0^{\mu}(\mu+1)}{2\sqrt{\pi}bch_{\Gamma}^{\mu+2}\varpi_{\kappa}} \frac{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}} = \frac{r_{\kappa}^0}{2\sqrt{\pi}h_{\Gamma}} \frac{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}}.$$

Определим численное соотношение мощностей для исходных данных из работы [1]:

$$k_N = \frac{N_{f_r}^0}{N_{f_r}^c} = \frac{r_{\kappa}^0}{2\sqrt{\pi}h_{\Gamma}} \frac{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}} = \frac{R-h_{\text{ш}}}{2\sqrt{\pi}h_{\Gamma}} \frac{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}}, \quad (6)$$

где R – свободный радиус колеса;

$h_{\text{ш}}$ – вертикальная деформация шины.

С учетом того, что [3]

$$\Gamma_{\frac{0,5+4}{2}} = \Gamma_{2,25} = 1,25 \Gamma_{1,25} = 1,25 \cdot 0,906;$$

$$\Gamma_{\frac{0,5+3}{2}} = \Gamma_{1,75} = 0,919,$$

получаем

$$k_N = \frac{N_{f_r}^0}{N_{f_r}^c} = \frac{0,5-0,05}{2 \cdot 1,77 \cdot 0,1} \cdot 1,25 \cdot \frac{0,906}{0,919} = 1,56.$$

При использовании для гамма-функции ее приближенного значения по формуле Стирлинга [3], а именно

$$\Gamma_{(x+1)} \approx \left(\frac{x}{e}\right)^x \sqrt{2\pi x}, \quad (7)$$

получаем

$$\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}} = \Gamma_{\frac{\mu+1}{2}} + 1 = \left(\frac{\mu+1}{2}\right)^{\frac{\mu+1}{2}} e^{-\frac{\mu+1}{2}} \sqrt{\pi(\mu+1)};$$

$$\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}} = \Gamma_{\frac{\mu+2}{2}} + 1 = \left(\frac{\mu+2}{2}\right)^{\frac{\mu+2}{2}} e^{-\frac{\mu+2}{2}} \sqrt{\pi(\mu+2)}.$$

Тогда отношение гамма-функций приобретает следующий вид:

$$\frac{\Gamma_{\frac{\mu+4}{2}}}{\Gamma_{\frac{\mu+3}{2}}} = \frac{\left(\frac{\mu+1}{2}\right)^{\frac{\mu+2}{2}} e^{-\frac{\mu+2}{2}} \sqrt{\pi(\mu+2)} (\mu+2)^{\frac{\mu+2}{2}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{\mu+2}{2}} (\mu+2)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu+2}{2}}}{\left(\frac{\mu+1}{2}\right)^{\frac{\mu+1}{2}} e^{-\frac{\mu+1}{2}} \sqrt{\pi(\mu+1)} (\mu+1)^{\frac{\mu+1}{2}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{\mu+1}{2}} (\mu+1)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{\mu+1}{2}}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2e}} \sqrt{\frac{(\mu+2)^{\mu+3}}{(\mu+1)^{\mu+2}}}.$$

Окончательно

$$k_N = \frac{N_{f_r}^0}{N_{f_r}^c} = \frac{r_k^0}{2\sqrt{\pi}h_r} \frac{1}{\sqrt{2e}} \sqrt{\frac{(\mu+2)^{\mu+3}}{(\mu+1)^{\mu+2}}} = \sqrt{\frac{1}{8\pi e}} \frac{(\mu+2)^{\mu+3}}{(\mu+1)^{\mu+2}} \frac{R-h_{ш}}{h_r}. \quad (8)$$

В результате расчета по тем же исходным данным получаем

$$k_N = \frac{N_{f_r}^0}{N_{f_r}^c} = \sqrt{\frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot 2,72}} \frac{2,5^{3,5}}{1,5^{2,5}} \cdot \frac{0,5 - 0,05}{0,1} = 1,63.$$

Отличие результатов расчетов соотношения энергозатрат по точному и приближенному вариантам вычисления значений гамма-функций составляет

$$n = \frac{1,63 - 1,56}{1,63} 100 = 4,3 \, \%.$$

Такое незначительное расхождение свидетельствует об инвариантности приближенного выражения. Это делает предпочтительным его применение, поскольку исключает табличное определение значений гамма-функций.

Таким образом, результаты вычислений соотношения энергозатрат показали, что потери мощности ведомым колесом на деформацию грунта в 1,5 раза выше, чем при качении колеса в свободном режиме. Поэтому вполне обоснованно можно рекомендовать для многоприводного движителя вариант силовой передачи, обеспечивающий постоянную работу всех колес в свободном (ведущем) режиме. Оптимальным вариантом, по нашему мнению, является блокированный привод с автоматической ликвидацией кинематического рассогласования в системе трансмиссия – движитель – опорная поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синицын, С.С. Уменьшение сопротивления качению колесного движителя по деформируемому основанию [Текст] / С.С. Синицын, П.А. Буров // Эксплуатация лесовозного подвижного состава: межвуз. сб. – Свердловск, 1987.

2. *Синицын, С.С.* Энергетический принцип оптимизации качественных характеристик колесных транспортно-технологических машин [Текст] / С.С. Синицын // Проблемы повышения качества промышленной продукции: межвуз. сб. – Брянск, 1998.
3. Справочник по специальным функциям [Текст]. – М.: Наука, 1979.

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия

Поступила 21.08.06

S.S. Sinitsyn

**Justification of Power Transmission for
Wheeled Timber-hauling Machines**

The power analysis is carried out for the interrelation process of pneumatic wheel in the driven and free operation modes with a deformed bearing surface. The rational type of power transmission for wheeled timber-hauling machines is analytically justified.



УДК 630*32

Н.С. Иванова

Иванова Наталья Сергеевна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры природообустройства МарГТУ. Область научных интересов – совершенствование технологии лесосечных работ на основе статистического моделирования.



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБЪЕМОВ ЗАГОТОВКИ И ВЫХОДА ФАНЕРНОГО КРЯЖА

Исследована динамика объемов заготовки фанерного кряжа в условиях Суслонгерского лесхоза Республики Марий Эл. Проведено статистическое моделирование, выявлены закономерности динамики объемов заготовки и выхода фанерного кряжа.

Ключевые слова: фанерный кряж, статистическое моделирование, динамика объемов заготовки и выхода.

В настоящее время существует значительный потенциал березовых лесов, которые являются основными ресурсами фанерного сырья, широко используемого в фанерной промышленности. Перед лесным комплексом стоят задачи эффективного обеспечения фанерной промышленности сырьем высокого качества. Для решения этой проблемы необходимы системы планирования и управления при рубках в древостоях.

В табл. 1 приведены исходные данные по Суслонгерскому лесхозу Республики Марий Эл для статистического моделирования. Как видим, за прошедшие 16 лет объемы заготовки березы были неравномерными.

Объем заготовки фанерного кряжа можно аппроксимировать по уравнению

$$Q_{\text{фан.кр}} = 855,6 \exp(0,0238t) + 5,7846 \cdot 10^{-10} t^{18,3869} \exp(-1,4423t) + 280,40 t^{0,6676} \exp(-0,04724t) \cos(\pi t / 2,0546 - 2,9470). \quad (1)$$

Таблица 1

Исходные данные о заготовке древесины

Год учета	Прошедшее время, лет	Объем заготовки древесины, м ³		
		общий	В том числе	
			березы	фанерного кряжа

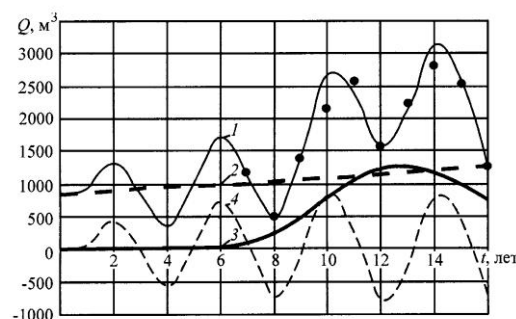
1989	1	25013,1	10859,6	-
1990	2	25393,0	11174,2	-
1991	3	25409,0	9197,4	-
1992	4	24493,5	8477,3	-
1993	5	25023,2	14163,1	-
1994	6	10821,1	1845,9	-
1995	7	9416,1	3633,3	1166,0
1996	8	12124,6	3239,6	500,8
1997	9	13336,2	4487,7	1385,3
1998	10	13016,2	5515,0	2137,2
1999	11	15952,6	8603,1	2570,6
2000	12	12992,0	4764,9	1568,8
2001	13	22180,5	12972,4	2216,9
2002	14	24006,0	15254,6	2803,7
2003	15	15002,5	9673,7	2521,4
2004	16	11263,4	4317,8	1265,8

Таблица 2

Динамика объема заготовки фанерного кряжа, м³

Год учета	Прошедшее время, лет	Факт Q_{ϕ}	Расчетные значения			Составляющие		
			Q	ε	Δ , %	Q_1	Q_2	Q_3
1988	0	-	855,7	-	-	855,7	0,0	0,0
1989	1	-	916,3	-	-	876,3	0,0	40,0
1990	2	-	1299,8	-	-	897,5	0,0	402,3
1991	3	-	885,0	-	-	919,1	0,0	-34,1
1992	4	-	356,7	-	-	941,3	0,2	-584,8
1993	5	-	957,0	-	-	964,0	3,0	-10,0
1994	6	-	1704,3	-	-	987,2	20,5	696,6
1995	7	1166,0	1166,0	0,0	0,00	1011,0	82,5	72,5
1996	8	500,8	500,8	0,0	0,00	1035,4	227,1	-761,7
1997	9	1385,3	1385,3	0,0	0,00	1060,4	468,1	-143,2
1998	10	2137,2	2646,0	-508,8	-23,81	1085,9	767,9	792,2
1999	11	2570,6	2375,0	195,6	7,61	1112,2	1047,1	215,7
2000	12	1568,8	1568,8	0,0	0,00	1139,0	1225,8	-796,0
2001	13	2216,9	2143,0	73,9	3,33	1166,4	1262,5	-285,9
2002	14	2803,7	3139,3	-335,6	-11,97	1194,5	1165,8	779,0
2003	15	2521,4	2553,9	-32,5	-1,29	1223,4	979,8	350,7
2004	16	1265,8	1265,8	0,0	0,00	1252,9	758,8	-745,9

В табл. 2 приняты следующие условные обозначения: Q_{ϕ} , Q – фактический и расчетный объем заготовки фанерного кряжа, м³; ε – остаток между фактическими и расчетными значениями показателя, т. е. абсолютная погрешность, равная $\varepsilon = Q_{\phi} - Q$; Δ – относительная погрешность, вычисляемая из соотношения $\Delta = 100 \varepsilon / Q_{\phi}$. Максимальная относительная погрешность $\Delta_{\max}$ равна -23,81 %. Доведенную вероятность матема-



тической модели (1) оценивали соотношением $D = 100 - |\Delta_{\max}|$. Таким образом, формула достоверна с вероятностью не ниже 76,19 %.

Формула (1) содержит три составляющие.

Первая волновая составляющая (Q_1) всегда изменяется в соответствии с естественной закономерностью. Из данных табл. 2 и графиков на рис. 1 видно, что она постепенно возрастает по экспоненциальному закону [1–

Рис. 1. Графики объема заготовки фанерного кряжа: 1 – Q ; 2 – Q_1 ; 3 – Q_2 ; 4 – Q_3 ; точки – Q_{ϕ}

3]. Отсюда можно сделать вывод, что природные ресурсы березняков, необходимые для получения фанерного кряжа, постепенно увеличиваются.

Вторая составляющая (Q_2), как правило, является техногенной, т. е. характеризует процесс, во многом зависящий от воздействий человека на природные объекты. Параметры формулы изменяются по биотехническому закону [1–3], который здесь показывает стрессовое возбуждение персонала Суслонгерского лесхоза при обработке березняков и заготовке фанерного кряжа. Вторая составляющая появилась с 1992 г., а максимум возбуждения наблюдался в 2001 г. С этого момента объем заготовки древесины начал снижаться.

Третья волновая составляющая (Q_3) отвечает произведению биотехнического закона (амплитуда колебательного возмущения) на волновую формулу в виде функции косинуса. Она характеризует волновое возмущение процесса заготовки фанерного кряжа, имеет максимум 792,2 м³ в 1998 г. При этом половина периода колебательного изменения равна 2,0546 года или округленно двум годам. В этом случае колебание объема производства фанерного кряжа происходит с периодичностью в четыре года.

На основе исходных данных табл. 1 можно определить выход фанерного кряжа. В результате статистического моделирования получено уравнение (табл. 3):

$$P_{\text{фан.кр}} = 31,94 \exp(-0,09604t) + 2,3537t^{7,1239} \exp(-2,0549t) + 1,4529t^{-16,6014} \exp(-4,5809t) \cos(\pi t / 1,5996 + 2,6509). \quad (2)$$

С доверительной вероятностью не менее 74,85 % формула (2) описывает динамику выхода фанерного кряжа. Из табл. 3 и графиков на рис. 2 видно, что первая составляющая (P_1) медленно снижается согласно устойчивому закону гибели, который, в свою очередь, относится к частному случаю биотехнического закона [3].

Вторая составляющая (P_2) изменяется по биотехническому закону. Она начинается с 1996 г. Максимальный выход фанерного кряжа по второй составляющей приходится на 1998 г., после чего постепенно сво-

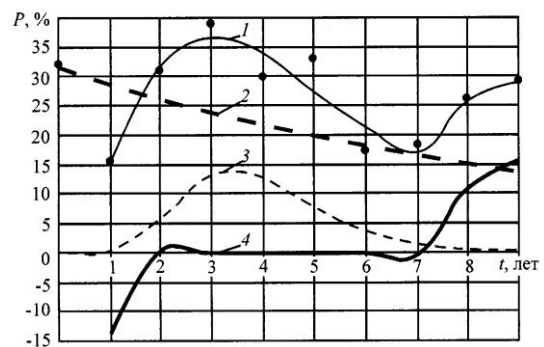


Рис. 2. Графики выхода фанерного кряжа: 1 – P ; 2 – P_1 ; 3 – P_2 ; 4 – P_3 ; точки – P_{ϕ}

дится к нулю.

Данные табл. 3 и графики рис. 2 показывают, что третья волновая составляющая (P_3) быстро сводится к нулю и в течение четырех лет с 1998 г. по 2001 г. остается равной ему. Однако с 2003 г. она возрастает и достигает максимума 15,6 %.

Результаты исследования показали, что по прошлым статистическим данным вполне можно определить тенденции и закономерности изменения

Таблица 3

Динамика процента выхода фанерного кряжа

Год учета	Прошедшее время, лет	Факт P_f	Расчетные значения			Составляющие		
			P	ε	Δ , %	P_1	P_2	P_3
1995	0	32,1	$-\infty$	-	-	31,3	0,0	$-\infty$
1996	1	15,5	15,5	0,0	0,00	28,5	0,3	-13,3
1997	2	30,9	31,7	-0,8	-2,59	26,0	5,6	0,1
1998	3	38,8	36,6	2,2	5,67	23,7	12,9	0,0
1999	4	29,9	34,2	-4,3	-14,38	21,6	12,6	0,0
2000	5	32,9	27,4	5,5	16,72	19,7	7,7	0,0
2001	6	17,1	21,4	-4,3	-25,15	17,9	3,5	0,0
2002	7	18,4	17,0	1,4	7,61	16,3	1,3	-0,6
2003	8	26,1	26,0	1,1	4,21	14,9	0,4	10,7
2004	9	29,3	29,3	0,0	0,00	13,6	0,1	15,6

объемов заготовки и выхода фанерного кряжа. Полученные статистические модели позволяют дать достаточно надежные прогнозы на треть периода с 1995 г. по 2004 г., т. е. на последующие три года, до 2007 г. При этом ориентировочные прогнозы, по данным лесоустройства 2004–2005 гг., можно проводить на 10 лет вперед, до 2014 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуркин, П.М. Биотехническое проектирование [Текст]: справочно-методическое пособие / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарПИ, 1994. – 348 с.
2. Мазуркин, П.М. Динамика рубок леса [Текст]: науч. изд. / П.М. Мазуркин, Э.Н. Бедертдинов, А.Н. Фадеев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 218 с.
3. Мазуркин, П.М. Статистическое моделирование. Эвристико-математический подход [Текст]: науч. изд. / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 100 с.

Марийский государственный
технический университет

Поступила 14.10.05

N.S. Ivanova

Regularities of Harvesting Volumes and Yield of Veneer Logs

The dynamics of harvesting volumes for veneer logs is studied for the conditions of Suslongersk forestry unit of the Mari El Republic. The statistic modeling is carried out, the dynamic regularities of harvesting volumes and yield of veneer logs are revealed.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.02: 661.728.85

Ю.И. Цой, С.М. Крутов, А.Ю. Марчук

Цой Юрий Иванович родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных трудов в области технологии деревообрабатывающих производств.



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОКРАШЕННЫХ ОБРАЗЦАХ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

Методом инфракрасной спектроскопии исследованы процессы, происходящие в окрашенных воднодисперсионной краской образцах древесины при климатическом старении. Установлено, что на древесных подложках осины и сосны деструктивные процессы имеют различный механизм.

Ключевые слова: атмосферостойкость полимерных покрытий, климатическое старение, воднодисперсионная краска, химический состав древесины, спектральный анализ.

Атмосферостойкость полимерных покрытий на древесных подложках во многом связана с химическими и физическими структурными изменениями, происходящими в окрашенных образцах при климатическом старении.

На кафедре технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТА исследованы процессы, происходящие в окрашенных воднодисперсионной краской образцах древесины (осина, сосна) при климатическом старении.

Проведенные ускоренным методом (ГОСТ 9.401–91) климатические испытания воднодисперсионной краски, нанесенной на различные подложки, показали существенное различие в поведении лакокрасочных покрытий на образцах из осины и сосны. Как показали эксперименты, на подложке сосны разрушение покрытия происходит быстрее. Наряду с изменениями в структуре образцов, подвергающихся климатическому старению, и особен-

ностями взаимодействия их с внешними факторами, большое значение имеют процессы химического взаимодействия, происходящие в граничной области «древесина – лакокрасочное покрытие», в самом покрытии и в более глубоких слоях древесины под слоем полимерного лака.

Цель данных исследований – изучить различия в поведении лакокрасочных покрытий на древесных подложках осины и сосны при климатическом старении. При этом необходимо изучить химические изменения и закономерности процесса старения как граничной области «древесина – лакокрасочное покрытие (ЛКП)», так и древесины под полимерным покрытием.

Предпосылками к проведению исследований послужили данные о существенном отличии строения и химического состава древесины осины и сосны. Старение связано с различием в химическом составе соединений и групп веществ, характеризующих хвойные и лиственные породы.

Среди принципиальных различий можно выделить различное строение лигнинов указанных пород. Как известно, для лигнина хвойных пород более характерно наличие гваяцильных фрагментов, для лиственных – синрингильных. В древесине осины содержание лигнина составляет 21,8 %, в сосне – 25,5 % [4]. Как известно, лигнин обладает значительной способностью к аутоокислению [5] и имеет характерные области поглощения в УФ-спектрах.

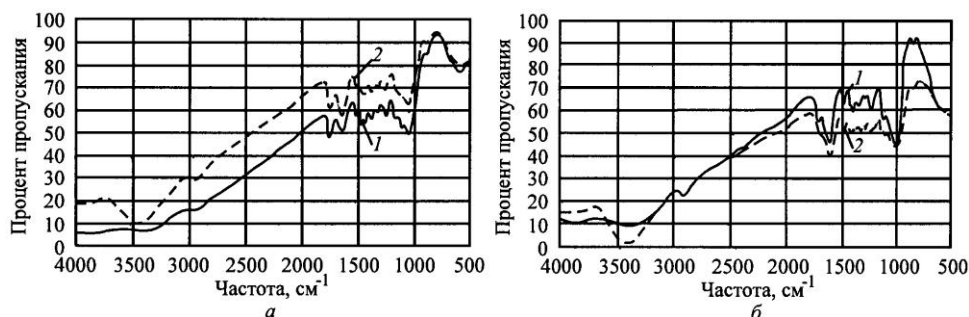
По нашему мнению, различие в скоростях деструкции полимерного материала, нанесенного на хвойные и лиственные образцы, может быть связано с наличием экстрактивных веществ. У хвойных пород древесины экстрактивные группы включают в себя соединения терпенового ряда (монотерпены, дитерпены, кислородсодержащие производные – смоляные кислоты и др. [1]). Указанные группы содержат соединения, имеющие в своем составе ненасыщенные связи. Как известно, такого рода соединения легко образуют пероксидные соединения с кислородом воздуха, которые через образование пероксидных радикалов могут инициировать деструктивные процессы в нанесенных на древесину материалах.

Следует учесть и наличие смоляных кислот, которые, диссоциируя, могут способствовать образованию слабокислой среды и приводить к ускорению деструктивных процессов в лакокрасочном покрытии. Однако, по нашему мнению, влияние последнего обстоятельства не будет преобладающим.

Для более глубокого понимания химических изменений, происходящих в древесине под полимерным покрытием и в граничной зоне «древесина–ЛКП» в процессе климатических испытаний, нами был использован метод инфракрасной (ИК-) спектроскопии.

Образцы к испытанию готовили следующим образом. Исследуемые материалы измельчали с получением пылевидной фракции и запрессовывали в виде таблеток с кристаллами KBr (KBr – 3 г; исследуемое вещество – 0,01 г). Спектры записывали на ИК-спектрометре Specord 75 IR.

После получения ИК-спектров (см. рисунок) определяли наличие полос поглощения по всем частотам исследованного диапазона (качествен-



Древесина осины (а) и сосны (б) под полимерным покрытием до (1) и после (2) климатических испытаний

ный анализ). При необходимости получения более точных данных проводили количественный анализ кривых [2, 3].

Для выяснения изменений в спектрах образцов нормировали интенсивности полос спектров по полосе поглощения 615 см^{-1} , относящейся к поглощению пигмента TiO_2 (внутренний стандарт).

При получении количественных данных по спектральным кривым рассчитывали оптическую плотность D :

$$D = \ln \frac{1}{A_1} - \ln \frac{1}{A_2}; \quad (1)$$

$$D = T_1 - T_2, \quad (2)$$

где A_1 , A_2 – процент пропускания соответственно вершины и основания частотного пика;

T_1 , T_2 – интенсивность падающего и прошедшего света.

Оптическую плотность определяли как поглощающую способность вещества и выражали следующим образом:

$$D = kcd, \quad (3)$$

где k – коэффициент погашения, т.е. поглощающая способность вещества;

c – концентрация вещества, г/л;

d – толщина слоя образца, см.

В результате анализа полученных ИК-спектров выявлены следующие закономерности (см. таблицу).

Для процесса климатического старения, протекающего в граничном слое «древесина – ЛКП», характерно увеличение оптической плотности в области частот 1720 и 1620 см^{-1} ($\text{C} = \text{O}$) для образцов сосны и ее снижение для образцов осины. Это свидетельствует о накоплении карбонильных групп в древесине сосны и преобладании в ней окислительных процессов по сравнению с осиной.

Кроме того, имеет место увеличение оптической плотности в области частот 1150 , 1100 и 1050 см^{-1} (сложноэфирные связи) для образцов сосны и ее снижение для образцов осины. Это свидетельствует о накоплении сложноэфирных связей в древесине сосны, что в свою очередь инициирует

**Изменения, происходящие в граничном слое «древесина – ЛКП» (числитель)
и под полимерным покрытием (знаменатель)
после климатических испытаний**

Функциональные группы	Частота, см ⁻¹	Оптическая плотность			
		Осина		Сосна	
		до старения	после старения	до старения	после старения
Гидроксильные группы –ОН	3400	<u>1,044</u>	<u>0,565</u>	<u>0,519</u>	<u>0,757</u>
		0,816	3,087	1,854	4,097
Карбонильные группы С=О	1700...1720	<u>0,480</u>	<u>0,407</u>	<u>0,413</u>	<u>0,473</u>
		0,432	0,733	0,640	0,711
Алкены С=С	1610...1620	<u>0,437</u>	<u>0,347</u>	<u>0,238</u>	<u>0,396</u>
		0,413	1,032	1,220	1,684
Простые эфиры	1130...1150	<u>0,326</u>	<u>0,166</u>	<u>0,238</u>	<u>0,240</u>
		0,391	0,515	0,836	0,889
С–О–С	1100	<u>0,393</u>	<u>0,077</u>	–	–
		0,636	0,774		
С–С, С–О, С≡N	1030...1050	<u>0,570</u>	<u>0,145</u>	<u>0,371</u>	<u>0,444</u>
		0,884	1,117	1,794	1,761

деструктивные процессы. Также можно отметить увеличение интенсивности в области 3400 см⁻¹ (гидроксильные группы), что свидетельствует о процессе гидролиза.

В древесине под полимерным покрытием при климатическом старении отмечено явное накопление гидроксильных групп в области 3400 см⁻¹. Практически во всех остальных областях частот наблюдается увеличение оптической плотности как для осины, так и для сосны.

Таким образом, в ходе экспериментов установлено, что на древесных подложках осины и сосны, окрашенных воднодисперсионной краской, при климатическом старении деструктивные процессы протекают по различным механизмам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаров, В.И.* Химия древесины и синтетических полимеров [Текст] / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999 – 628 с.
2. *Базарнова, Н.Г.* Методы исследования древесины и ее производных [Текст] / Н.Г. Базарнова [и др.]. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2002. – 160 с.
3. *Наканиси, К.* ИК-спектры и строение органических соединений [Текст] / К. Наканиси. – М.: Мир, 1965. – 209 с.
4. *Уголев, Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения [Текст] / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
5. *Фенгел, Д.* Древесина. Химия, ультраструктура, реакции [Текст] / Д. Фенгел, Г. Вегенер; под ред. А.А. Леоновича. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 512 с.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 13.04.05

Yu.I. Tsoj, S.M. Krutov, A.Yu. Marchuk

**Physico-chemical Processes in Painted Samples of Wood
after Climatic Ageing**

The processes occurring in the samples of water-dispersion painted wood under climatic ageing are investigated by infrared spectroscopy method. It is established that the destructive processes are different for aspen and pine wood substrates.

УДК 674.047

А.В. Питухин, Ю.В. Янюк, Е.А. Питухин

Питухин Александр Васильевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Ленинградский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН, заведующий кафедрой технологии металлов и ремонта Петрозаводского государственного университета. Имеет более 80 печатных трудов в области оценки надежности, расчета и проектирования машин.



Янюк Юлия Вячеславовна родилась в 1967 г., окончила в 1993 г. Балтийский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии металлов и ремонта Петрозаводского государственного университета. Имеет более 10 научных трудов в области математического моделирования, анализа и синтеза систем управления.



Питухин Евгений Александрович родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Балтийский государственный технический университет, кандидат технических наук, докторант кафедры математического моделирования систем управления Петрозаводского государственного университета. Имеет более 40 научных трудов в области математического моделирования, анализа и синтеза систем управления, управления технологическими объектами в реальном времени.

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ
ПОСЛЕФЛОТАЦИОННОЙ СУШКИ ЩЕПЫ**

Разработан оптимальный алгоритм управления процессом послефлотационной сушки щепы в сушильной установке барабанного типа по критерию минимума энергетических затрат.

Ключевые слова: сушка щепы, сушильная установка барабанного типа, математическая модель процесса сушки, энергетические затраты, оптимальное управление.

Одним из важных технологических процессов целлюлозно-бумажного производства является сушка щепы после флотации. Контроль влажности щепы необходим для выдерживания технологии варки целлюлозы, изготовления древесностружечных плит, длительного кондиционного хранения [9]. Для сушки могут быть использованы сушильные установки барабанного типа (роторные сушилки) – наилучшие по соотношению цены и качества. По сравнению с шахтными, ромбическими и другими видами сушилок они имеют следующие преимущества: универсальность; высокое качество сушки за счет интенсивного перемешивания материала; возможность сушить высоковлажный засоренный материал; исключение спекания; простота монтажа (для запуска в работу не требуется капитальных сооруже-

ний); надежность работы (исключается образование застойных зон); приемлемая цена.

В барабанную сушилку влажную щепу подают в сушильный барабан через загрузочный бункер и желоб. Влажная щепа и горячий сушильный агент (воздух) спиральными устройствами перемещаются вдоль барабана в одном направлении. Кроме того, эти устройства обеспечивают равномерный обдув частиц щепы сушильным агентом. По достижении противоположного конца барабана высушенную до нужной влажности щепу выгружают. Влажный сушильный агент с мелкими частицами древесины пропускают через циклон для их отделения.

Повышение эффективности управления технологическим процессом сушки щепы – важная проблема современного производства. Оптимизация управления может быть проведена по различным критериям [4]. Выбор того или иного критерия зависит от конкретных условий производственного процесса. Основные факторы оптимизации – энерго- и ресурсосбережение. Эффективный алгоритм управления процессом сушки должен, с одной стороны, обладать высоким быстродействием, с другой – быть оптимальным с точки зрения снижения энергетических затрат и потребления ресурсов [5].

Основными задачами при усовершенствовании систем управления барабанными сушильными установками (БСУ) являются [5, 10]: достижение требуемого значения выходного содержания влаги в материале щепы (независимо от возмущения входных величин); оптимальное использование энергии при сушке; недопущение пересушивания, при котором увеличиваются энергетические затраты и могут возникнуть повреждения в материале; стабилизация процесса сушки в номинальном режиме.

Общая модель сушки в БСУ обычно состоит из некоторого набора дифференциальных уравнений в частных производных [1, 8, 10], описывающих передачу массы и тепла между газообразной и твердой фазами. Такая модель является динамической и достаточно сложной для решения, поэтому ее обычно упрощают (линеаризуют вокруг рабочей точки) или решают численно [7, 10]. Однако всегда встает вопрос об адекватности упрощенной модели реальному поведению технического объекта. Эта проблема приводит к необходимости составления такой системы уравнений, которая имела бы аналитическое решение и была бы адекватна реальному процессу [2].

При изучении процессов сушки была выявлена одна общая особенность, характерная для сушки различных материалов в различных установках. Для любого процесса при построении кривой скорости сушки [8] наблюдается достаточно протяженный во времени участок, в котором скорость сушки постоянна и не зависит от времени. Этот стационарный процесс и представляет собственно сушку, т. е. выпаривание влаги из материала. Он зависит от внешних условий и не связан с внутренней передачей влаги.

Таким образом, на основании допущения о неизменности скорости сушки во времени и применения асимптотического подхода к решению общей модели предлагается следующая математическая модель процесса сушки [6]:

$$v_m \frac{\partial X}{\partial l} = -R_{v13}; \quad (1)$$

$$v_g \frac{\partial Y}{\partial l} = R_{v24}(G_m / G_g); \quad (2)$$

$$v_m \frac{\partial(C_m T_m)}{\partial l} = \frac{a_v V_v}{G_m} (T_g - T_m) - \lambda R_{v13}; \quad (3)$$

$$v_g \frac{\partial(C_g T_g)}{\partial l} = -\frac{a_v V_v}{G_g} (T_g - T_m) - \lambda_m \frac{G_m}{G_g} R_{v24}, \quad (4)$$

где v_m – скорость материала в осевом направлении, м/с;
 X – влажность материала, кг H_2O /кг материала;
 l – независимая переменная интегрирования по длине барабана, м;
 R_{v13} , R_{v24} – скорость сушки, 1/с;
 v_g – скорость сушащего газа в осевом направлении, м/с;
 Y – влажность сушащего газа, кг H_2O /кг материала;
 G_m – линейная плотность материала, кг/м;
 G_g – линейная плотность газа, кг/м;
 C_m – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);
 T_m – температура материала, К;
 a_v – удельный коэффициент передачи теплоты, кДж/(м³·К·с);
 V_v – удельный объем барабана, м³/м;
 T_g – температура сушащего газа, К;
 λ , λ_m – теплота испарения, Дж/кг;
 C_g – удельная теплоемкость газа, Дж/(кг·К).

Уравнения системы представляют собой соответственно: (1) – уравнение материального баланса сушимого вещества; (2) – уравнение материального баланса сушащего воздуха; (3) – уравнение теплового баланса сушимого вещества; (4) – уравнение теплового баланса сушащего воздуха.

Предполагалось с помощью [1] уточнить значения коэффициентов R_{v13} , R_{v24} , λ и λ_m в правых частях уравнений (1)–(4). Так называемый условный коэффициент сушки, или скорость сушки R_v , для уравнений (1) и (3)

определяют как $R_{v13} = -\frac{(X-1)}{g_m} r v_m$ (где g_m – массовый расход материала,

кг/с; r – интенсивность массообмена, %; для уравнений (2) и (4) $R_{v24} = \frac{Y-1}{g_g} r v_g$ (где g_g – массовый расход сушащего воздуха). Кроме того, урав-

нение (3) содержит теплоту испарения $\lambda = -\frac{c_v T_m}{X-1} - T_m \frac{\partial C_m}{\partial X} + \frac{C_m T_m}{X-1}$ (где c_v –

теплоемкость выделяющегося газа, Дж/(кг·К), а уравнение (4) –

$$\lambda_m = \left(\frac{C_g T_g}{Y-1} - \frac{c_v T_g}{Y-1} - T_g \frac{\partial C_g}{\partial Y} \right).$$

Для повышения эффективности и снижения энергетических затрат, т. е. для оптимизации управления, данные параметры не должны быть константами, что предлагалось ранее [7, 8, 10] в качестве основных допущений в целях упрощения системы. Как можно более точно настроить БСУ на конкретный режим работы позволяют именно те значения R_v , λ , λ_m , которые получены из приведенных выше зависимостей.

Конструктивные параметры системы (1)–(4) объединяются в множество Ω [4]: $\{v_g, v_m, C_g, C_m, G_g, G_m, a_v, V_v, \lambda, \lambda_m\} \in \Omega$.

Правые части всех уравнений содержат так называемый линейный условный коэффициент скорости сушки, который может быть представлен в виде $R_v = k_1 X(l) + k_2 T_m(l) + k_3 T_g(l) + k_4$ (коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 являются настроечными и обеспечивают точную настройку системы (1)–(4) под свойства сушеного материала, конструкцию установки и внешние условия сушки на основании соответствия результатов моделирования экспериментальным данным).

Как уже отмечалось, для обеспечения лучшей адекватности модели реальным процессам сушки в БСУ данные параметры должны быть не константами, а функциями от некоторых входных воздействий системы. При подстановке найденных функциональных зависимостей в полученное аналитическое решение системы из него исключаются коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 , а математическая модель процесса сушки оптимальным образом настраивается под конкретную БСУ и сушимый материал.

После идентификации модели (1)–(4) решают задачу оптимизации процесса сушки по критерию снижения энергетических затрат. Целевая функция представляет собой удельные энергетические затраты на передачу теплоты от газа 1 кг материала внутри барабана, Дж/кг [4]:

$$C_f = C_g \frac{v_g G_g}{v_m G_m} [T_g(l_0) - T_g(l, \Omega, X(l_0), T_g(l_0), T_m(l_0))], \quad (5)$$

где l_0 – независимая переменная, соответствующая входу в барабан.

Управляющие параметры выбирают исходя из следующих соображений. Для того, чтобы иметь на выходе определенное значение содержания влаги в материале достаточно варьировать температуру и поток (расход) сушащего воздуха. Уменьшать температуру и расход газа, снижая тем самым затраты, можно лишь до определенного предела. Критерием в данном случае служит влажность материала на выходе из барабана:

$$X(l = L, T_g(l_0), X(l_0), v_g, v_m) \leq X_{cr}, \quad (6)$$

где L – длина барабана, м;

X_{cr} – критическая влажность материала на выходе из барабана, кг H_2O /кг материала.

Кроме того, при снижении скорости подачи материала увеличивается время задержки материала в барабане, что также приводит к более низкому содержанию влаги в материале на выходе. Таким образом, в качестве управляющих параметров были выбраны: $T_g(l_0)$ – входная температура сушащего воздуха, К; v_g – скорость подачи сушащего воздуха, м/с; v_m – скорость

подачи материала, м/с. На данные параметры накладываются следующие двусторонние областные ограничения: $T_{g\text{low}} \leq T_g(l_0) \leq T_{g\text{up}}$; $v_{g\text{low}} \leq v_g \leq v_{g\text{up}}$; $v_{m\text{low}} \leq v_m \leq v_{m\text{up}}$. На входную влажность, являющуюся возмущающим воздействием, также накладывается ограничение $X_{\text{low}} \leq X(l_0) \leq X_{\text{up}}$. Данные неравенства задают область допустимых проектных параметров Ω_1 .

Задача оптимизации ставится следующим образом:

$$\begin{aligned} C_f \left\langle T_g^*, v_g^*, v_m^* \middle| X(l=L, T_g(l_0)^*, v_g^*, v_m^*) < X_{cr} \right\rangle = \\ = \min_{\{T_g(l_0), v_g, v_m\} \in \Omega_1} C_f \left\langle T_g, v_g, v_m \middle| X_{out}(l=L, T_g(l_0), v_g, v_m) < X_{cr} \right\rangle. \end{aligned}$$

Здесь $T_g(l_0)^*$, v_g^*, v_m^* – оптимальные параметры управления, сводящие функционал (5) с учетом ограничения (6) к минимуму; их находят при решении задачи минимизации методом скользящего допуска [3].

Эффективность управления при использовании оптимальных управляющих параметров, найденных по данному алгоритму, оценивается при сравнении с несколькими стандартными режимами работы БСУ. В процессе сравнения изменяются только управляющие параметры при прочих равных условиях. При этом снижение удельных энергетических затрат на передачу тепла в некоторых случаях достигает 20 ... 25 %.

Таким образом, повышение эффективности работы БСУ при сушке щепы достигается прежде всего за счет уменьшения энергетических затрат на технологический процесс сушки, ресурсосбережения, а также достаточно высокого быстродействия алгоритма управления при использовании в системе управления уточненной математической модели, настроенной на конкретный режим работы установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вьюков, И.Е. Математические модели и управление технологическими процессами целлюлозно-бумажной промышленности [Текст] / И.Е. Вьюков, И.Ф. Зорин, В.П. Петров. – М.: Машиностроение, 1975. – 373 с.
2. Питухин, Е.А. Математическая модель управления качеством работы сушильной установки барабанного типа [Текст] / Е.А. Питухин // Тр. ПетрГУ; серия «Прикладная математика и информатика». – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1997. – Вып 6. – С. 71–76.
3. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975.
4. Янюк, Ю.В. Об оптимизации управления сушильной установкой барабанного типа [Текст] / Ю.В. Янюк, Е.А. Питухин // Новые информационные технологии в ЦБП и энергетике. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2002. – С. 112–114.
5. Янюк, Ю.В. Оптимальное управление сушильной установкой барабанного типа по критерию снижения энергозатрат на технологический процесс сушки сыпучих материалов [Текст] / Ю.В. Янюк, А.В. Питухин, Е.А. Питухин // Тез. докл. научно-практ. конф. «Энергоресурсосбережение и обеспечение экологической безопасности на пром. предприятиях». – Пушкин: Изд-во СПб. электротехн. компании, 2004. – С. 13–17.

6. Янюк, Ю.В. Преобразование математической модели процесса сушки для управления сушильной установкой барабанного типа [Текст] / Ю.В. Янюк, Е.А. Питухин // Тр. лесоинженерного фак-та ПетрГУ. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. – Вып. 4. – С. 191–196.

7. Balchen, J.G. Process control: Structures and Applications [Text] / J.G. Balchen, I. M. Kenneth. – Van Nostrand Reinhold company, New York, 1988. – 540 p.

8. Brambilla, A. Dynamic model of rotary dryer//2nd symposium on the use of computers in chemical engineering [Text] / A. Brambilla, G. Nardini, Z. Stabert. – Usti Nad Labem, Tsekkoslovakia, 1973. – Vol. II. – P. 218–231.

9. Pitukhin, E.A. The design of an optimal control algorithm for the DAMATIC-XD system for decreasing the use of energy in afterflotational drying of wood chips [Text] / E.A. Pitukhin, J. Yanyuk // New information technologies in pulp and paper industry and energetic. – Petrozavodsk: PetrSU, 1998. – P. 37–38.

10. Yliniemi, L. Advanced Control of a Rotary Dryer [Text] / L. Yliniemi. – Oulun Yliopisto, Oulu, 1999. – 100 p.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 22.09.05

A.V. Pitukhin, Yu.V. Yanyuk, E.A. Pitukhin

Management of After-flotation Chip Drying Process

The optimal algorithm is developed for managing the process of after-flotation chip drying in a drying unit of a drum type based on the minimal power inputs criteria.



УДК 621. 941: 216. 01
674. 054. 055

А.В. Сергеевичев, А.Ю. Волков

Сергеевичев Александр Владимирович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и инструментов деревообрабатывающих производств СПб ГЛТА. Имеет более 10 печатных трудов в области технологии и механики древесных материалов.



Волков Андрей Юрьевич родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Ленинградский энергостроительный институт, аспирант кафедры оборудования и инструментов деревообрабатывающих производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет 3 научные статьи в области технологии и механики древесных материалов.



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОЦИЛИНДРОВАННЫХ БРЕВЕН И ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Установлены факторы, влияющие на точность оцилиндровки бревен на роторном позиционном станке, а также статические и динамические усилия, возникающие в механизме резания.

Ключевые слова: роторные оцилиндровочные станки позиционного типа, случайные и систематические погрешности, точность оцилиндровки бревен, статические и динамические усилия.

Точность изготовления оцилиндрованных бревен на позиционном роторном станке определяется его геометрическими погрешностями. Точность характеризуется величиной отклонения контролируемых размеров и формы от заданных. Отклонения, в свою очередь, зависят от точности настройки станка. Последняя связана с большим числом факторов, относящихся к станку, инструменту, обрабатываемому бревну и режимам резания.

Отклонение размеров и формы бревна от заданных размеров называют погрешностью. Погрешности подразделяют на две группы: систематические и случайные.

Систематические – это погрешности, которые остаются постоянными в пределах обработки партии бревен или изменяются по определенному закону; к ним относят постоянные (погрешности в кинематике станка, неточности элементов и приспособлений, непараллельность направляющих, неточности в элементах базирования, настройки и регулирования и др.) и переменные (износ инструментов, направляющих и приспособлений, деформация элементов станка и приспособлений, температурные деформации трущихся элементов опорных узлов и др.).

Случайные – это погрешности, которые в период обработки партии бревен изменяются без определенной закономерности; они могут быть вызваны нестабильностью припусков на обработку, нестабильностью формы бревна, поступающего на обработку, ошибками базирования (центрирование) бревен при закреплении в центрах, неоднородностью свойств обрабатываемой древесины, различными проявлениями внутренних напряжений в материале бревна, нестабильностью режимов обработки (различные скорости подачи и резания) и др.

Погрешности суммируют с учетом следующих правил:
систематические погрешности складывают алгебраически;
систематическую и случайную погрешности складывают арифметически;

случайные погрешности складывают по следующему правилу:

$$\delta = \sqrt{(K_1\delta_1)^2 + (K_2\delta_2)^2 + \dots + (K_n\delta_n)^2}, \quad (1)$$

где δ – суммарная погрешность;

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ – составляющие погрешности;

$K_1, K_2, \dots, K_n$ – коэффициенты, зависящие от вида кривых распределения составляющих погрешностей.

Если погрешности подчиняются одному и тому же закону $K_1 = K_2 = \dots = K_n$, то суммарную погрешность определяют по формуле

$$\delta = K\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}. \quad (2)$$

В большинстве случаев погрешности носят случайный характер и подчиняются закону нормального распределения [2].

К характерным случаям образования систематических погрешностей относят:

наличие непараллельности направляющих каретки ротора оси бревна; из-за этого возникает угол между осью бревна и осью вращения ротора;

наличие несоосности крепления бревна к торцам; между осью бревна и осью центров образуется угол перекоса;

наличие смещения оси бревна относительно оси центров; между осями бревна и центров возникает смещение, постоянное или переменное по длине бревна;

наличие перекоса бревна в центрах; оси бревна и центров пересекаются под углом.

Во всех отмеченных случаях обработки ось вращения ротора совпадает с осью центров. Отмеченные погрешности приводят к тому, что глубина обработки по длине бревна и радиусу при вращении и подаче ротора и инструментами не остается постоянной.

В отдельных случаях концевые зоны бревен могут оказаться не обработанными по сплошной цилиндрической поверхности. Непостоянство глубины резания приводит к изменению сил резания от $P_{\min}$ до $P_{\max}$ как за оборот ротора, так и по длине бревна, что в свою очередь является причиной

возникновения динамических нагрузок и колебаний в станке, а также потери работоспособности механизма резания и подачи.

К характерным случаям образования случайных погрешностей при оцилиндровке бревен на роторных позиционных станках относят:

наличие неровностей на наружной поверхности бревен; ось бревна не совпадает с осью вращения ротора и осью центров; высота неровностей – переменная по радиусам и длине бревен;

наличие продольной кривизны у бревен; ось бревна – кривая, не совпадающая с осью вращения ротора и центров; наружный и внутренний радиусы – по длине бревна непостоянны;

наличие выраженной конусности бревен, локальных природных пороков древесины (сучки, местные наплывы и утолщения, местные впадины, смоляные карманы и другие); высота, шаг неровностей и механические характеристики в бревнах непостоянны; оси бревна, вращения ротора и центров совпадают (но могут и не совпадать).

Отмеченные погрешности приводят к тому, что глубина резания по длине бревна и радиусу при вращении и подаче ротора изменяется по законам случайного распределения. Из-за переменного сечения среза стружек и изменчивости прочностных свойств древесины по длине бревен силы резания непостоянны. Изменение сил резания за оборот ротора и по длине бревен приводит к возникновению вынужденных колебаний в станке. Оцилиндровка бревен во многом определяется их жесткостью на изгиб и кручение. В процессе движения ротора по длине бревен изменяется их податливость: она меньше в зоне центров и больше в средней зоне. Для уменьшения прогиба бревен в станках используют подвижной люнет.

Механизм резания позиционного роторного станка для оцилиндровки бревен состоит из двигателя, ременной передачи и ротора с набором режущих инструментов. В механизме резания при обработке бревен, кроме статических, имеют место динамические усилия трех видов: возникающие в результате неравномерности рабочей нагрузки (усилий резания); возникающие из-за неравномерного движения его деталей (ошибки исполнения деталей, неуравновешенность деталей, неравномерный износ подшипников); возникающие при пуске и торможении.

Динамические усилия в механизме резания (привод) станка могут одновременно содержать две составляющие, вызванные как внешним динамическим усилием, так и внутренними причинами [1].

Современные исследователи рассматривают машины и механизмы как многомассовые упругие системы. При определении пусковых нагрузок обычно пользуются законом изменения скорости или избыточного момента двигателя при его разгоне. Однако это влечет за собой некоторую неточность результатов из-за того, что при разгоне двигателя возникает обратная связь: двигатель действует на систему привода механизма, а приводная система – на двигатель. В связи с этим закон не будет отражать действительного характера изменения отмеченных величин. При рассмотрении динамических

явлений в механизме резания (привод) оцилиндровочного станка целесообразно учитывать действительные пусковые характеристики двигателя [3].

Механическая характеристика короткозамкнутого асинхронного электродвигателя переменного тока при обычном исполнении ротора отличается существенной нелинейностью и рассчитана на машины, запускаемые вхолостую, так как пусковой момент M_n у них зачастую оказывается меньше момента сопротивления M_c . При запуске под нагрузкой используют асинхронные двигатели со специальным исполнением ротора, который обеспечивает значительные пусковые моменты ($M_n > M_c$). У короткозамкнутых асинхронных двигателей момент в период разгона можно считать примерно равным среднеарифметической сумме пускового и максимального значений:

$$M_p = M_{cp} = \frac{M_n + M_{max}}{2}. \quad (3)$$

Во время пуска и торможения механизма резания, а также при любом изменении скорости вращения ротора (при изменении сил резания в условиях переменной глубины резания) совершается работа сил инерции частей, движущихся с ускорением или замедлением. Работа сил инерции вращающихся частей при изменении скорости равна разности кинетических энергий:

$$A_g = I \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2}, \quad (4)$$

где I – момент инерции вращающегося ротора, н·м·с²;

ω_1 и ω_2 – угловые скорости в начале и конце процесса изменения скорости вращающихся частей, с⁻¹.

Если моменты инерции всех вращающихся частей привода заменить эквивалентным (приведенным) моментом инерции $I_{пр}$, то работу сил инерции можно определить по формуле

$$A_g = \frac{I_{пр} \omega^2}{2}, \quad (5)$$

где ω – угловая скорость вращения вала двигателя, с⁻¹.

Применяя $I_{пр}$, можно определить динамическую мощность N_d по формуле

$$N_d = I_{пр} \omega \frac{d\omega}{dt}. \quad (6)$$

При пуске механизма резания расходуется мощность N_n , равная сумме динамической N_d и статической N_c мощностей:

$$N_n = N_d + N_c. \quad (7)$$

При торможении, когда скорость ротора изменяется от номинальной до нуля, расходуемая мощность равна разности этих мощностей:

$$N_n = N_d - N_c. \quad (8)$$

Динамический момент

$$M_d = \frac{N_d}{\omega} = \frac{I_{np} \omega}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = I_{np} \frac{d\omega}{dt}. \quad (9)$$

Момент, развиваемый двигателем при пуске, равен сумме динамического и статического моментов:

$$M_n = M_d + M_c = I_{np} \frac{d\omega}{dt} + M_c, \quad (10)$$

при торможении – разности моментов:

$$M_t = M_d - M_c = I_{np} \frac{d\omega}{dt} - M_c. \quad (11)$$

Здесь M_t – статический момент двигателя, соответствующий статической мощности, потребляемой двигателем при неизменной скорости рабочего процесса резания. Одна часть статической мощности расходуется на обработку бревна резанием, другая – на преодоление сил трения в опорах валов, между воздухом и элементами ротора и передачи. Энергия, расходуемая на преодоление сил трения, преобразуется в теплоту.

Статический момент, может быть определен по следующей формуле:

$$M_c = 9750 \frac{N_c}{n}, \quad (12)$$

где N_c – статическая мощность двигателя, кВт;

n – частота вращения вала двигателя, мин⁻¹.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Точность оцилиндровки бревен на позиционном роторном станке зависит от факторов, относящихся к станку, инструменту, обрабатываемому бревну и режиму обработки.

2. Изменения сил резания за оборот ротора и по длине бревна из-за непостоянства сечения реза и механических свойств древесины приводят к возникновению прогиба бревен и вынужденных колебаний в станке. Для ликвидации влияния на точность обработки прогиба бревен следует в конструкции станков использовать подвижный люнет, т.е. подвижную дополнительную опору для бревен.

3. В механизме резания (подача) оцилиндровочного позиционного роторного станка при обработке бревен, кроме статических, возникают динамические усилия: от неравномерности усилия резания (рабочая нагрузка); от неравномерного движения деталей; при пуске и торможении двигателя привода.

4. При оценке динамических явлений в механизме резания (привод) оцилиндровочных станков следует учитывать действительные характеристики двигателя. Наличие сравнительно небольших масс в роторной группе оцилиндровочных позиционных станков позволяет широко использовать в приводе асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

5. Запуск и торможение асинхронного двигателя в механизме резания оцилиндровочного позиционного роторного станка следует производить

без рабочей нагрузки, т.е. при отсутствии резания. Это связано с тем, что при обычном исполнении характеристика короткозамкнутого асинхронного электродвигателя переменного тока отличается существенной нелинейностью, а его пусковой момент зачастую меньше момента сопротивления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов, В.А. Динамика станков [Текст] / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359с.
2. Манжос, Ф.М. Точность механической обработки древесины [Текст] / Ф.М. Манжос. – М.: ГЛБИ, 1959. – 262с.
3. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков [Текст] / О.П. Михайлов. – М.: Машиностроение, 1990. – 304с.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 13.04.05

A.V. Sergeevichev, A.Yu. Volkov

Production of Cylinderized Logs and Processing Accuracy

The factors influencing the accuracy of logs' cylinderizing on the rotary positional machine are set as well as statistical and dynamic efforts occurring in the cutting mechanics.

УДК 674.038.15:620.172.22

В.Н. Глухих

Глухих Владимир Николаевич родился в 1944 г., окончил в 1967 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 100 печатных работ в области сушки и механики древесины с учетом анизотропии ее свойств.



УПРУГАЯ ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПОПЕРЕК ВОЛОКОН

Доказано существование минимума при изменении модуля упругости от радиального к тангенциальному направлению; предложено наибольшую деформативность посередине пласти доски использовать как критерий оптимизации при составлении схем раскроя бревен на пиломатериалы.

Ключевые слова: упругая деформативность, модуль упругости, упругие постоянные, коэффициент усушки, усушка, главные направления анизотропии, параметр оптимизации, качество сушки, доски радиальные, тангенциальные, полурадиальные.

Упругая деформативность древесины характеризуется обратной модулю упругости величиной и изменяется в зависимости от угла наклона годичного слоя к пласти доски.

Для хвойных и лиственных пород деформативность поперек волокон очень велика, но характер изменения упругих постоянных по сечению примерно одинаковый. Это проанализировано в работах Е.К. Ашкенази [1, 2], А.Н. Митинского [9], Н.Л. Леонтьева [7], С.Г. Лехницкого [8] и др. Использование полученных в работах [1, 8, 9] формул для вычисления постоянных упругости затруднено из-за применения ряда экспериментально определяемых величин. К этим величинам относят коэффициенты поперечной деформации, модули сдвига и упругости.

Получение модуля упругости E_{xy}^{45} теоретическим путем значительно упростило бы задачу исследования деформативности древесины поперек волокон.

Б.Н. Уголев [10] отмечает, что усушку древесины необходимо рассматривать как результат деформирования ячеистой конструкции. При этом упругая анизотропия такой конструкции приобретает большое значение. Наибольшая усушка должна быть в направлении наименьшей жесткости системы и наоборот – наименьшая усушка будет иметь место в направлении наибольшей жесткости. Следовательно, если тангенциальная усушка больше радиальной, то модули упругости по этим направлениям должны находиться в обратном соотношении. Это соотношение получено в работе [4]. Предполагается, что оно справедливо не только для главных направлений анизотропии, но и для любых направлений поперек волокон:

$$K_r E_r = K_t E_t = K_x E_x, \quad (1)$$

где K_r , K_t и E_r , E_t – коэффициенты усушки и модули упругости в главных направлениях анизотропии.

Учитывая известную формулу для коэффициента усушки [6]:

$$K_x = K_t \sin^2 \theta + K_r \cos^2 \theta, \quad (2)$$

а также то обстоятельство, что при линейном деформировании древесины поперек волокон возникает угловая деформация и при сдвиге, кроме угловой деформации, появляется линейная [1], несложно получить:

$$K_x = K_t \sin^2 \theta + K_r \cos^2 \theta - \frac{K_r - K_t}{2} \sin 2\theta. \quad (3)$$

Тогда из (1) запишем

$$E_x = E_t \frac{K_t}{K_x}. \quad (4)$$

Из (4) с учетом (3) вычислим

$$E_{xy}^{45} = E_t. \quad (5)$$

Таким образом, при угле наклона годичного слоя 45° модуль упругости в направлении оси X равен модулю упругости в тангенциальном направлении.

В формуле для модуля упругости [1, 8]

$$\frac{1}{E_x} = \frac{\cos^4 \theta}{E_r} + \frac{\sin^4 \theta}{E_t} + \left(\frac{4}{E_{xy}^{45}} - \frac{1}{E_r} - \frac{1}{E_t} \right) \cos^2 \theta \sin^2 \theta$$

заменим E_{xy}^{45} из (5) и получим:

$$\frac{1}{E_x} = \frac{\cos^4 \theta}{E_r} + \frac{\sin^4 \theta}{E_t} + \frac{3 - \alpha^2}{E_t} \sin^2 \theta \cos^2 \theta, \quad (6)$$

где $\alpha^2 = E_t/E_r$.

Таким образом, в формуле с коэффициентом Пуассона и модулем сдвига [1, 8]

$$\frac{1}{E_x} = \frac{\cos^4 \theta}{E_r} + \frac{\sin^4 \theta}{E_t} + \left(\frac{1}{G_{rt}} - \frac{2\mu}{E_r} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta.$$

Круглая скобка может быть заменена:

$$\frac{1}{G_{rt}} - \frac{2\mu_{rt}}{E_r} = \frac{3 - \alpha^2}{E_t} \quad (7)$$

или

$$E_t \left(\frac{1}{G_{rt}} - \frac{2\mu_{rt}}{E_r} \right) = 3 - \alpha^2. \quad (8)$$

Точно такое же соотношение (8) получено при решении дифференциального уравнения [5], что лишний раз подтверждает правильность уравнений (1), (3).

Функция модуля упругости E_x из (6) приобретает экстремальные значения при $\theta = 0$, $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$. При этом последнее значение есть минимум модуля упругости $E_x^{\min}$ (рис. 1):

$$E_x^{\min} = \frac{8E_t}{9 - \alpha^2}. \quad (9)$$

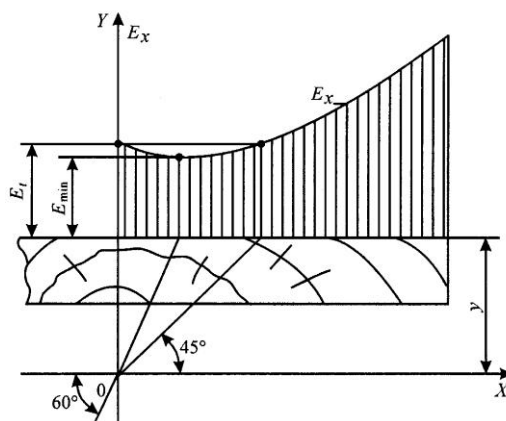
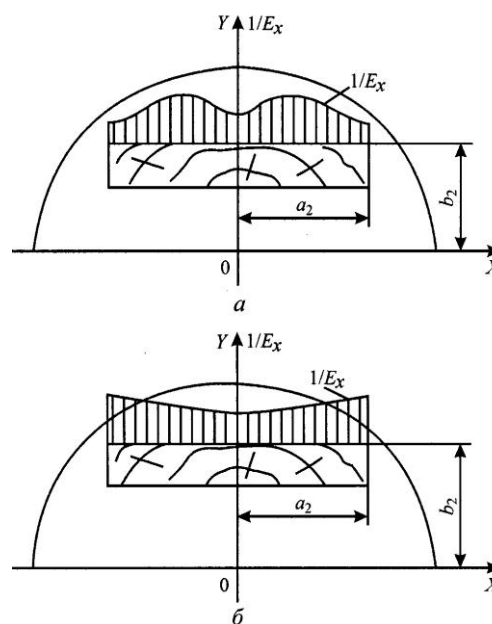


Рис. 1. Изменение модуля упругости по ширине пласти доски

Рис. 2. Деформативность по ширине пласти досок промежуточного расположения (а) и тангенциальных (б)



Для исследования деформативности пиломатериалов прямоугольных сечений удобнее использовать функцию (6) в декартовых координатах:

$$\frac{1}{E_x} = \frac{\alpha^2 x^4 + (3 - \alpha^2)x^2 y^2 + y^4}{E_t(x^2 + y^2)^2}. \quad (10)$$

Анализ результатов расчетов по формуле (10) показал, что у досок с осью симметрии сечения, совпадающей с осью Y , наименьшая деформативность имеет место в середине пласти (рис. 2). От середины к краям пласти деформативность возрастает, достигает наибольшего значения и затем снижается, стремясь в пределе к обратной величине модуля упругости в радиальном направлении. Учитывая, что в середине пласти возникают наибольшие напряжения (при сушке, механических воздействиях в результате предотвращения поперечного коробления, действии прижимных вальцов в станке на доски с поперечным короблением и т.д.), существует реальная опасность появления в этих местах трещин.

Деформативность радиальных досок по ширине пласти изменяется незаметно, исключая узкую локальную область, прилегающую к оси Y . Это же относится и к тангенциальным доскам (рис. 3).

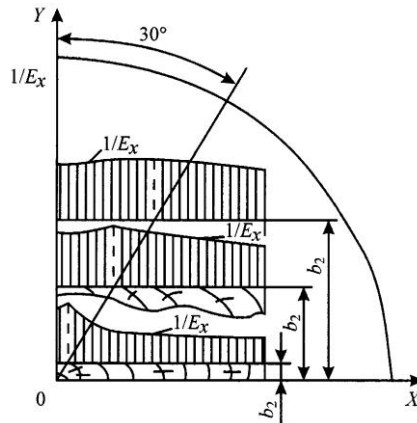
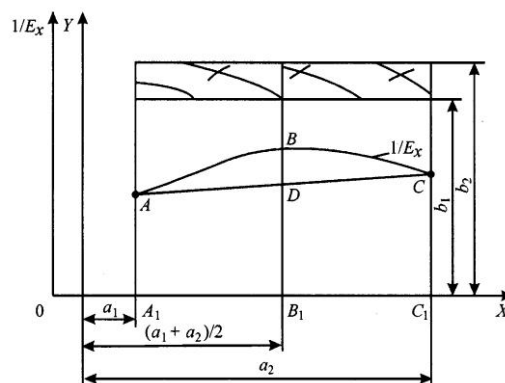


Рис. 3. Расположение точки максимума на кривой деформативности с удалениями доски от центра бревна

Рис. 4. Кривая деформативности пласти полурадиальной доски



По пласти полурадиальных досок деформативность варьирует от наименьших значений по краям до максимальных в середине. Именно это, а также несколько более высокая прочность на растяжение в радиальном направлении по сравнению с тангенциальным, обеспечивает отсутствие пластических трещин при высушивании.

Поэтому для пиломатериалов, предназначенных к высушиванию, при составлении плана раскроя бревен необходимо учесть, что наибольшая деформативность будет в средней части пласти доски. Кривая деформативности должна быть обращена своей выпуклостью вверх (рис. 4) при соблюдении условия $BD > 0$. Этот отрезок можно вычислить как разность между значением деформативности в середине пласти и ординатой т. D, являю-

щейся полусуммой значений деформативности на кромках доски. Тогда с учетом (10) после преобразований получим

$$\frac{\alpha^2(a_1 + a_2)^4 + 4(3 - \alpha^2)(a_1 + a_2)^2 b_2^2 + 16b_2^4}{[(a_1 + a_2)^2 + 4b_2^2]^2} - \frac{\alpha^2 a_1^4 + (3 - \alpha^2)a_1^2 b_2^2 + b_2^4}{2(a_1^2 + b_2^2)^2} - \frac{\alpha^2 a_2^4 + (3 - \alpha^2)a_2^2 b_2^2 + b_2^4}{2(a_2^2 + b_2^2)^2} \geq 0. \quad (11)$$

В выражении (11) постоянные упругости напрямую не участвуют, а присутствует их относительная величина $\alpha^2 = E_t/E_r$. Учитывая, что это отношение для большинства пород древесины примерно одинаковое и составляет около 0,5, можно с некоторым допущением считать, что формула (11) вполне пригодна для определения оптимальных параметров пиломатериалов всех пород. За параметр оптимизации при этом принята наибольшая деформативность в средней зоне пласти доски.

Принимая $\alpha^2 = 0,5$, из (11) получим:

$$\frac{(a_1 + a_2)^4 + 20b_2^2(a_1 + a_2)^2 + 32b_2^4}{[(a_1 + a_2)^2 + 4b_2^2]^2} - \frac{a_1^4 + 5a_1^2 b_2^2 + 2b_2^4}{2(a_1^2 + b_2^2)^2} - \frac{a_2^4 + 5a_2^2 b_2^2 + 2b_2^4}{2(a_2^2 + b_2^2)^2} \geq 0. \quad (12)$$

При $a_1 = 0$ будем иметь:

$$\frac{a_2^4 + 20b_2^2 a_2^2 + 32b_2^4}{(a_2^2 + 4b_2^2)^2} - \frac{a_2^4 + 5a_2^2 b_2^2 + 2b_2^4}{2(a_2^2 + b_2^2)^2} \geq 1. \quad (13)$$

Зависимости (12) и (13) могут быть проанализированы с помощью ЭВМ в целях получения однозначного вывода – соответствует или не соответствует конкретная схема распиловки бревна критерию оптимизации по деформативности.

Пример 1. Соответствует ли критерию оптимизации доска толщиной 40 мм и шириной 150 мм, выпиленная из бревна с брусовкой на 2 бруса. Расстояние до наружной пласти доски 170 мм ($a_1 = 0$; $a_2 = 150$ мм; $b_2 = 170$ мм):

$$\frac{150^4 + 20 \cdot 170^2 \cdot 150^2 + 32 \cdot 170^4}{(150^2 + 4 \cdot 170^2)^2} - \frac{150^4 + 5 \cdot 150^2 \cdot 170^2 + 2 \cdot 170^4}{2(150^2 + 170^2)^2} = 1,0826.$$

Соотношение (13) выполняется, т.е. $1,0826 > 1$, следовательно, доска соответствует критерию оптимизации по деформативности.

Пример 2. Проверить по критерию деформативности крайние брусковые сосновые доски, полученные распиловкой на один брус при следующих данных: $|a_1| = a_2 = 75$ мм; толщина досок 32 мм. Доски будут высушены до влажности 11 ... 13 %.

Согласно ГОСТ 6782.1–75 припуск на усушку составит 1,4 мм. Ширина пропила 2,6 мм. Расстояние до наружной пласти крайней доски

$$b_2 = \frac{32}{2} + 2 \cdot 2,6 + 2 \cdot 32 + \frac{1,4}{2} + 2 \cdot 1,4 = 88,7 \text{ мм.}$$

Проверим по критерию деформативности:

$$1 - \frac{0,5 \cdot 75^4 + (3 - 0,5) 75^2 \cdot 88,7^2 + 88,7^4}{(75^2 + 88,7^2)^2} = -0,0346 < 0.$$

Следовательно, по деформативности эти доски не проходят. При сушке наиболее вероятно снижение их качества из-за пластевых трещин и остаточных напряжений.

Выводы

1. При переходе от радиального направления к тангенциальному модуль упругости E_x принимает минимальное значение при угле наклона годичного кольца к пласти доски 30° . При значении этого угла 45° модуль упругости E_x равен модулю упругости в тангенциальном направлении.

2. Изложенная методика определения наибольшей деформативности досок поперек волокон позволит проанализировать любую схему раскроя бревна по этому критерию.

3. Полученные результаты могут быть использованы уже на стадии составления схемы раскроя бревна при планировании качества сушки пиломатериалов по остаточным напряжениям и пластевым трещинам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов [Текст] / Е.К. Ашкенази – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 223 с.
2. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструкционных материалов [Текст]: справ. / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – М.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
3. Глухих, В.Н. Применение полиномов к решению задач для цилиндрически анизотропного тела [Текст] / В.Н. Глухих // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 2001. – С. 126–131.
4. Глухих, В.Н. О возможной взаимосвязи постоянных упругости и коэффициентов усушки древесины [Текст] / В.Н. Глухих // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 2002. – С. 124–128.
5. Глухих, В.Н. О соотношении постоянных упругости древесины как цилиндрически анизотропного тела [Текст] / В.Н. Глухих // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, 2003. – С. 162–166.
6. Куликов, Н.П. Усушка древесины в зависимости от направления относительно главных осей [Текст] / Н.П. Куликов // Тр. ЛТА. – 1938. – № 51.
7. Леонтьев, Н.Л. Упругие деформации древесины [Текст] / Н.Л. Леонтьев. – М.; Л.: ГЛБИ, 1952. – 117 с.
8. Лехницкий, С.Г. Теория упругости анизотропного тела [Текст] / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 415 с.

9. Митинский, А.Н. Упругие постоянные древесины как ортотропного материала [Текст]: / А.Н. Митинский // Тр. ЛТА. – 1958. – № 63. – С. 22–54.

10. Уголев, Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке [Текст] / Б.Н. Уголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – С. 174.

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 29.05.06

V.N. Glukhikh

Elastic Deformability of Wood across Grain

The existence of minimum under elasticity coefficient change from radical to tangential direction is proved. It is offered to use the highest deformability in the middle of a plank face as an optimization criterion in planning log cutting into sawn timber.

УДК 674.053

О.И. Бачин

Бачин Олег Иванович родился в 1953 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных машин Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области деревообработки.



ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУГЛЫХ ПИЛ

Исследованы характеристики трещиностойкости сталей марок 9ХФ, 12ХН2МФ, 60ХН2МФСР и стали финского производства, используемых для круглых пил большого диаметра ($D = 1500$ мм), которые применяют для поперечной распиловки бревен. Наиболее низкий показатель вязкости разрушения отмечен у стали марок 12ХН2МФ, 60ХН2МФСР.

Ключевые слова: критический коэффициент интенсивности напряжений, трещиностойкость сталей, круглые пилы.

В настоящее время в качестве основных характеристик, определяющих эксплуатационные свойства сталей, применяемых для дереворежущих пил, используют твердость HRC, предел прочности σ_b , предел текучести $\sigma_{0,2}$, предел выносливости при симметричном цикле σ_{-1} , а также стандартные характеристики пластичности: относительное удлинение δ , относительное сужение ψ , удельная работа деформации $a_{уп}$. Считают, что перечисленные характеристики дают полное представление о работоспособности инструмента по износостойкости и прочности.

Основным и наиболее легко определяемым является показатель твердости материала, который входит в браковочные характеристики пил. Установлено, что твердость материала круглых пил должна быть в пределах 39 ... 44 HRC. Твердость материала однозначно связывают с абразивным изнашиванием инструмента. Установлено, что износостойкость лезвия возрастает с повышением твердости. При этом чрезмерно высокая твердость приводит к обратному эффекту – выкрашиванию кромок задолго до появления нормального износа.

Твердость материала используют и как косвенный показатель прочностных свойств сталей, хотя корреляционных зависимостей для материалов дереворежущих инструментов не установлено. Однако всегда указывают твердость, при которой определены прочностные характеристики.

Способы определения прочностных характеристик как при статических, так и при переменных нагрузках легко осуществимы и нормированы соответствующими ГОСТами. Наиболее полно в настоящее время в литературных источниках представлены механические характеристики, полученные при статических растягивающих нагрузках. Менее изучены показатели усталостной прочности. В практических расчетах их вычисляют на основании опытных соотношений по значениям предела прочности.

Перечисленные механические характеристики материала определены рамками соответствующего подхода к оценке прочности инструмента. Однако по ряду причин исследований только в этом направлении недостаточно. Прежде всего, опытные факты не подтверждают существующее мнение о том, что разрушение наступает мгновенно. Практика показывает, что полному разрушению предшествует длительный период образования и развития трещин, отдаляющий момент наступления критического состояния. Период разрушения обусловлен параметрами нагрузки, структурными свойствами материала, размерами начальных дефектов. При отмеченных обстоятельствах наиболее важная оценочная характеристика работоспособности материала пил – способность его сопротивляться распространению трещин. В механике разрушения данный показатель именуется вязкостью разрушения.

Для оценки способности материала тормозить магистральную трещину существует достаточно большой набор характеристик и методов их определения. Основными являются: K_c – критический коэффициент интенсивности напряжений при плоском напряженном состоянии; K_{Ic} – критический коэффициент интенсивности напряжений при объемном напряженном состоянии в случае плоской деформации. Величина K_c зависит от толщины образца и в полном смысле не является характеристикой материала. Однако, учитывая, что дереворежущие пильные инструменты – это тонкие пластины, в которых реализуется плоское напряженное состояние, для практики представляет интерес K_c .

Применяемые на практике экспериментальные методы определения вязкости разрушения можно условно разделить на три группы:

использующие корреляцию вязкости разрушения с другими более легко измеряемыми величинами;

основанные на измерении необратимой работы разрушения;

основанные на решениях конкретных задач механики разрушения.

Методы первой группы являются наиболее простыми. Действительно, наличие надежной корреляции между вязкостью разрушения K_c и твердостью, пределом прочности или текучести позволило бы весьма быстро находить искомую характеристику при помощи стандартной аппаратуры. В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, позволяющий для некоторых металлов и сплавов устанавливать однозначную связь между вязкостью разрушения и стандартными характеристиками прочности. Хотя обобщение имеющихся результатов для широкого класса инструментальных сталей нуждается в дальнейшем накоплении экспериментальных данных и проведении аналитических исследований, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что с повышением твердости материала вязкость его снижается. Снижение вязкости разрушения происходит и при повышении предела текучести материала. Из этого следует, что повышение работоспособности инструмента обычно является компромиссным решением при поиске оптимального соотношения между твердостью, пределом текучести и вязкостью разрушения. При этом следует иметь в виду те резервы материала, которые кроются в его термической модернизации.

Методы второй группы основаны на измерении необратимой работы разрушения. Осуществление на практике этих методов требует точного измерения смещений и поверхности трещины. По существу эти методы эквивалентны энергетическому методу Ирвина [2].

Наиболее распространены в настоящее время методы, основанные на решении конкретных задач линейной механики разрушения для тел с разрезами. Выбор решения определяет и выбор образца. Естественным является стремление к использованию компактных образцов, не требующих большого количества материала и достаточно простых в изготовлении. Однако размеры образца должны обеспечивать предполагаемое поведение материала перед фронтом трещины. Известно, что при квазихрупком разрушении перед фронтом трещины образуется пластическая зона, которая обуславливает нарушение асимптотического закона распределения напряжений. Размер пластической зоны r связан с видом возникающего у острия трещины напряженного состояния. В тонкой пластине поперечные деформации по всей ее толщине не стеснены и обеспечивают условия возникновения плоского напряженного состояния. При этом развитие пластических деформаций облегчается. По мере увеличения толщины образца возникает стеснение деформаций в поперечном направлении, размер пластической зоны уменьшается. При этом доля хрупкого разрушения увеличивается, а критический коэффициент интенсивности снижается. Установлено, что размер пластической зоны r перед концом трещины, определенный как

$$r = \frac{K_c^2}{2\pi\sigma_{0,2}^2},$$

не должен превышать 0,02 от длины трещины [1]. Вместе с тем номинальное растягивающее напряжение в сечении нетто образца не должно превосходить 0,8 от предела текучести материала $[\sigma_{0,2}]$, определенного на гладких образцах.

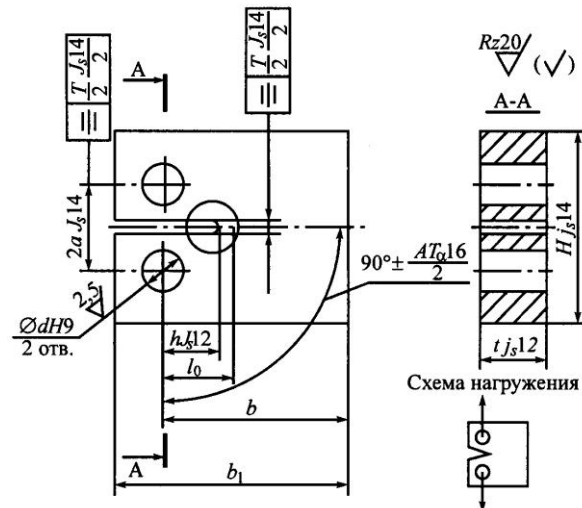
Критическая длина трещины, используемая для подсчета K_c , должна быть увеличена на величину r .

Для проведения испытаний на вязкость разрушения наиболее целесообразными с точки зрения изготовления и расходования материала являются образцы на внецентренное растяжение (см. рисунок [1]).

В качестве исследуемых материалов приняты: сталь отечественного производства базовой марки 9ХФ различной твердости; сталь финского производства; экспериментальные стали 60ХН2МФСР, 7ХН2МФ. Образцы изготавливали механической обработкой без применения термических способов, что исключало изменение структуры и свойств материала. Надрез на образцах получали абразивным кругом с малыми подачами, чтобы избежать возникновения прижогов металла. Для каждого образца измеряли твердость по HRC.

Усталостную трещину от исходного механического надреза создавали на специальной приставке к серийно выпускаемой машине УМЭ-10ТМ.

Образец для испытаний на вязкость разрушения: $b = 40$ мм; $b_1 = 1,25 b$; $H = 1,2 \times b$; $2a = 0,55b$; $d = 0,25b$; $l_0 = (0,45 - 0,55)b$; $e \leq 0,08h$ ($e = l_0 - h$); $h \approx (0,35 - 0,50)b$; t – соответствует толщине пины



В соответствии с требованиями ГОСТ максимальное усилие переменного нагружения выбирали таким, чтобы в начальный момент нагружения выполнялось условие $K_{\max} < 0,75 K_c$, на конечном участке $0,3 l_0$ наведения усталостной трещины – $K_{\max} < 0,60 K_c$ ($K_{\max}$ – наибольший коэффициент интенсивности напряжений; l_0 – длина образца). Коэффициент асимметрии цикла R выдерживали в пределах $0,1 \dots 0,2$. Различие в длинах трещин на обеих сторонах образца не превышало 5 %.

Испытания проводили на испытательной машине марки ЦДМ-5 с точностью измерения нагрузки до 1 %. Геометрические параметры образца измеряли на универсальном микроскопе УИМ-21 с точностью до $\pm 0,001$ мм.

Критический коэффициент интенсивности напряжений вычисляли по формуле [1]:

$$K_c = \frac{P}{t\sqrt{e}} 13,74 \left[1 - 3,380 \left(\frac{l_0}{e} \right) + 5,572 \left(\frac{l_0}{e} \right)^2 \right],$$

где t , e , l_0 – размеры образца;

P – разрушающая нагрузка.

В предварительном эксперименте установлено, что роста трещины в докритическом режиме не происходит, а размер пластической зоны перед концом трещины не превышает установленного значения ($r < 0,02l_0$). Причем доля губ среза мала по сравнению с долей хрупкого излома.

Результаты статистической обработки данных определения вязкости разрушения приведены в таблице.

Имея в виду случайное попадание образцов на испытания из различных партий пил, поставленных заводом-изготовителем, полученный результат можно расценивать как средний показатель вязкости разрушения в целом по пилам из стали 9ХФ с твердостью в пределах $39 \dots 44$ HRC, определенный по ГОСТ 980–80 ($K_{c\text{cp}} = 128,2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Таблица 1

Статистическая обработка результатов определения вязкости разрушения

Статистическая обработка результатов определения вязкости разрушения						
Номер пилы	Марка стали	Вязкость разрушения $K_{ср}$, МПа · м ^{1/2}	Среднеквадратическое отклонение S, МПа · м ^{1/2}	Показатель точности опыта P, %	Коэф-фициент вариации V, %	Твер-дость HRC
1	9ХФ	102,80	9,91	2,34	9,64	40,85
2	9ХФ	133,80	18,59	4,19	13,89	43,30
3	9ХФ	144,60	8,30	1,44	5,74	44,80
4	9ХФ	131,60	2,18	1,17	0,76	40,23
Среднее значе- ние		128,20	9,75	2,29	7,50	42,30
5	Сталь финского производст- ва	136,85	9,94	2,19	7,26	45,60
6		142,31	8,54	2,45	6,00	40,50
Среднее значе- ние		139,58	9,24	2,32	6,63	43,05
7	7ХН2МФ	91,92	2,25	1,41	2,44	41,50
8	60ХН2МФСР	106,34	10,25	4,82	9,64	43,50

В результате проведенных исследований определены значения вязкости разрушения сталей 9ХФ, 7ХН2МФ, 60ХН2МФСР и стали финского производства. Среднее значение критического коэффициента интенсивности напряжений для стали 9ХФ составило 128,2 МПа·м^{1/2}.

Следует отметить, что между твердостью материала и характеристикой K_c явной зависимости не установлено.

Сталь финского производства имеет показатель вязкости разрушения на 9 % выше, чем среднее значение вязкости разрушения для партий образцов из стали 9ХФ. Наиболее низкий показатель K_c выявлен у экспериментальных сталей 7ХН2МФ и 60ХН2МФСР.

Полученные результаты трещиностойкости пильной стали необходимы при изучении аварийного расхода пил, предназначенных для поперечной распиловки бревен, так как разрушению пил предшествует образование в межзубовых впадинах трещин и их последующее развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25.506–85. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 3 с.

2. Ирвин, Д.Ж. Основы теории роста трещин и разрушения [Текст] / Д.Ж. Ирвин, П.Парис // Разрушение. Т.3. / под ред. Г. Либовиц. – М.: Мир, 1976. – С. 17–66.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 06.06.05

O.I. Bachin

Crack Resistance of Steel for Circular Saws Manufacture

Characteristics of crack growth resistance for steel of 9ХФ, 12ХН2МФ, 60ХН2МФСП grades and Finnish steel for circular saws of big diameter ($D = 1500$ mm) to be applied for crosscutting of logs are investigated. The lowest factor of crack resistance is registered for steel grades of 12ХН2МФ and 60ХН2МФСП.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.87:634.0.866

В.И. Антонов, В.И. Ягодин

Антонов Владимир Ильич родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесохимических продуктов и биологически активных веществ С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных трудов в области химической переработки древесной зелени и коры.



Ягодин Владимир Иванович родился в 1944 г., окончил в 1966 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесохимических производств и биологически активных веществ, проректор по научной работе СПбЛТА, почетный профессор Нанкинского лесного университета (КНР). Имеет более 100 печатных трудов и 9 изобретений в области технологии древесной зелени, комплексной химической переработки древесины.

**ЭКСТРАКЦИОННАЯ ПЕРЕРАБОТКА
ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ И КЕДРА СИБИРСКИХ**

Показана возможность комплексного использования древесной зелени пихты и кедра с получением биологически активных препаратов лечебно-профилактического и кормового применения.

Ключевые слова: зелень древесная, масло эфирное, паста хлорофилло-каротиновая, хлорофиллин, концентрат провитаминный, воск.

Древесную зелень пихты широко используют для получения эфирного масла [2], водного экстракта и витаминной (кормовой) муки [3]. В последнее время наметилась тенденция получения эфирного масла из зелени кедра [4]. Технология предусматривает отгонку летучих соединений с водяным паром, отделение эфирного масла от воды, сбор и упаривание водного экстракта (конденсата). Пропаренное сырье используют для получения кормового продукта. Хорошо известна технология экстракционной переработки древесной зелени сосны и ели с получением хлорофилло-каротиновой пасты и других биологически активных продуктов, в том числе эфирного масла, водного (лечебного) экстракта и муки [5].

Цель данного исследования – определение возможности получения биологически активных продуктов из древесной зелени пихты и кедра сибирских после отгонки эфирного масла.

Таблица 1

Качество древесной зелени

Показатель	Значение показателя в сырье					
	исходном		после отгонки масла		после экстрагирования	
	Пихта	Кедр	Пихта	Кедр	Пихта	Кедр
Массовая доля, %:						
хвои	60,0	68,0	–	–	–	–
влаги	16,4	16,7	15,5	16,2	25,3	21,4
эфирного масла	2,7	2,2	0,04	0,06	Отсут.	Отсут.
липидных компонентов	11,9	11,3	11,3	11,1	3,8	3,6
водорастворимых веществ	36,6	23,6	35,6	23,4	20,5	15,6
Переваримость, %	42,1	40,3	41,3	39,9	38,5	36,8

Работа проведена в опытном цехе лесобиохимии Лисинского учебно-опытного лесхоза СПБЛТА. Древесная зелень, заготовленная в Емельяновском опытном лесхозе Красноярского края, предварительно обработана на измельчителе-пневмосортировщике ИПС-1,0 и измельчена на дробилке «Волгарь-5». Характеристика исходного сырья представлена в табл. 1. Здесь же представлены соответствующие показатели остатков, полученных после отгонки эфирных масел и экстракции бензином и водой.

Измельченное сырье загружали в экстракторы, а затем в течение 3 ч от него отгоняли эфирное масло при температуре 127 ... 142 °С, давлении острого пара около 150 кПа. Качественные показатели пропаренной древесной зелени приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что эфирное масло из измельченного сырья отгоняется почти на 100 %. Содержание экстрактивных соединений практически не изменяется. Переваримость (показатель кормового применения) несколько снизилась для пихтового сырья, вероятно, из-за некоторого извлечения конденсатом водорастворимых веществ.

Качественные показатели полученного эфирного масла, приведенные в табл. 2, свидетельствуют, что из измельченной древесной зелени пихты и кедра получается качественное эфирное масло с высокими выходом и содержанием борнилацетата.

Пропаренное сырье экстрагировали совмещенным водно-бензиновым способом [1] в целях получения продуктов из экстрактивных веществ. Процесс проводили без перегрузки сырья. В аппарат подавали экстрагенты: бензин-растворитель марки БР-1 (температура кипения 80 ... 120 °С) и воду при соотношении сырье:бензин:вода = 1,0:0,7:0,5 (по массе). Экстрагирование продолжали 3 ч (принцип дефлегмационно-оросительный), после чего экстракты сливали и направляли на переработку для получения биологически активных продуктов.

Как видно из табл. 1 и 2, степень извлечения веществ, растворимых в бензине, составляет для пихтового и кедрового сырья более 68 %; водорастворимые соединения из пихтовой зелени извлекаются на 44 %, из кедровой – на 34 %. Эфирное масло, содержащееся в пропаренном сырье в

следовых количествах, полностью экстрагируется бензином. Переваримость древесной зелени снижается на 8,5 ... 8,7 %.

Данные исследования водного экстракта (табл. 2) по показателям лечебного препарата (ФС 42-2699–89), указывают на возможность получения качественного лечебного экстракта.

Из бензинового экстракта были выделены биологически активные продукты, качественные показатели которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Выход и качественные показатели продуктов переработки древесной зелени

Показатель	Значение показателя	
	Пихта	Кедр
Эфирное масло		
Выход, % от абс. сухого сырья	2,66	2,14
Число, мг КОН/г:		
кислотное	0,32	0,31
эфирное	85,95	86,32
омыления	86,27	86,63
Плотность, кг/м ³	893	889
Массовая доля борнилацетата, %	34,38	35,02
Водный экстракт		
Плотность, кг/м ³	1023	1012
Массовая доля, %:		
сухого остатка	6,56	4,84
нерастворимых в воде веществ (от сухого остатка)	1,60	1,23
зола (от сухого остатка)	5,05	6,31
Хлорофилло-каротиновая паста		
рН 1 % водного раствора	11	12
Массовая доля, %:		
производных хлорофилла	0,480	0,586
каротиноидов	0,088	0,108
воды	46,0	48,0
воскообразных веществ	4,8	3,6
летучих нерастворимых в воде веществ	3,4	2,1
неомыляемых веществ	24,4	26,0
кислот	27,2	24,0
в том числе:		
жирных	28,5	12,1
смоляных	71,5	87,9
Хлорофиллин натрия		
Выход, %	0,016	0,017
рН 1 %-го водного раствора	9,0	9,2
Массовая доля, %:		
воды	52,4	53,8
водорастворимых производных хлорофилла	15,1	16,2

Окончание табл. 2

Показатель	Значение показателя	
	Пихта	Кедр
Провитаминный концентрат		
Выход, %	0,63	0,61
Массовая доля, %:		
воды	6,4	6,6
летучих нерастворимых в воде веществ	1,8	1,8
каротиноидов	0,021	0,028
Бальзамическая паста		
Выход, %	0,38	0,40
pH 20 %-го водного раствора	9,3	9,2
Массовая доля, %:		
воды	41,0	41,7
производных хлорофилла	0,351	0,372
неомыляемых веществ	5,8	6,4
кислот	49,8	47,6
в том числе:		
жирных	29,9	70,1
смоляных	32,4	67,6
Воск		
Выход, %	0,73	0,40
Массовая доля, %:		
воды и летучих веществ	2,31	1,41
механических примесей	5,27	6,29
Число, мг КОН/г:		
кислотное	69,44	20,38
эфирное	164,81	193,22
омыления	234,25	213,60
Температура каплепадения, °С	80	78
Кормовая мука		
Выход, %	0,43	0,45
Массовая доля, %:		
воды	5,9	5,3
клетчатки	21,2	23,3
сырого протеина	4,8	4,7
Переваримость, %	42,0	40,6

Выход пасты из древесной зелени пихты составляет около 3,8 %, из кедрового сырья – около 4,0 %. Полученная хлорофилло-каротиновая паста соответствует требованиям нормативно-технической документации (ГОСТ 21802–89) на пасту, получаемую из древесной зелени сосны и ели, кроме доли пигментов. Снижение содержания пигментов связано с разрушениями в ходе доставки сырья на переработку (40 дн.) и воздействием пара при отгонке масла.

Полученный хлорофиллин натрия отвечает требованиям ОСТ 56-33-85 как продукт первого сорта; провитаминный концентрат согласно техниче-

ским требованиям ОСТ 56-32–85 соответствует второму сорту, бальзамическая паста – требованиям ОСТ 56-58–83, воск – ОСТ 56-65–87.

Из пропаренной и проэкстрагированной древесной зелени получена кормовая мука, имеющая переваримость более 40 %, а также довольно высокое содержание сырого протеина при умеренной доле клетчатки. Ее можно использовать в кормопроизводстве или вводить непосредственно в основной рацион животных.

Выводы

1. Показана возможность комплексного использования древесной зелени пихты и кедра с получением как традиционных, так и новых продуктов – биологически активных препаратов лечебно-профилактического и кормового назначения.

2. Получаемые продукты в основном соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, В.И. Способ совмещенной водно-бензиновой экстракции биологически активных веществ из древесной зелени и его промышленные испытания [Текст] / В.И. Антонов, В.И. Ягодин, В.А. Выродов // Гидролиз. и лесохим. пром-ть. – 1984. – № 1. – С. 9–11.

2. Калинин, А.М. Производство пихтового масла [Текст] / А.М. Калинин, Г.В. Никифоров. – М.: Лесн. пром-ть, 1969. – 104 с.

3. Подыниглазов, А.А. Производство хвойного эфирного масла, экстракта и витаминной муки при комплексной переработке древесной зелени [Текст] / А.А. Подыниглазов, Н.З. Ворончихин, Е.В. Опалев // Проблемы использования древесной зелени в народном хозяйстве СССР. – Л., 1984. – С. 49–50.

4. Степень, Р.А. Варьирование комплексного состава эфирного масла кедр в зависимости от некоторых факторов [Текст] / Р.А. Степень, Г.М. Сивовол, Н.Л. Шишкин // Производство кормовых и биологически активных продуктов на основе низкосортной древесины и отходов лесопромышленного комплекса. – Красноярск, 1988. – С. 43–44.

5. Ягодин, В.И. Комплексная химическая переработка древесной зелени [Текст] / В.И. Ягодин, В.И. Антонов // Лесн. хоз-во. – 1982. – № 5. – С. 72–73.

С.-Петербургская
лесотехническая академия

Поступила 20.01.06

V.I. Antonov, V.I. Yagodin

Extraction Processing of Wood Green of Siberian Fir and Pine

The possibility of multiple use of wood green of Siberian fir and pine is shown with production of biologically active treatment-and-preventive and feed preparations.

УДК 661.45.03

Л.П. Майорова

Майорова Людмила Петровна родилась в 1947 г., окончила в 1973 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Тихоокеанского государственного университета. Имеет более 180 печатных работ в области рационального и комплексного использования древесного сырья и глубокой химической переработки древесины.



О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ХИМИЗМА СУЛЬФИТНОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ВАРКИ БЕРЕЗОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Приведены уравнения регрессии, адекватно описывающее процесс сульфитной щелочной варки березовой древесины.

Ключевые слова: сульфитная щелочная варка, березовая древесина, лигнин, углеводы, делигнификация, сульфонирование, инактивация, растворение лигнина, избирательность.

Одной из актуальных задач лесопромышленного комплекса России является увеличение доли глубокой химической переработки в структуре ЛПК, что отвечает мировым тенденциям [1]. В настоящее время в производстве целлюлозы преобладает сульфатный способ, позволяющий перерабатывать низкокачественную хвойную и лиственную древесину с получением полуфабрикатов достаточно высокого качества, но сопровождающийся значительным воздействием на природную среду. Большой интерес при производстве полуфабрикатов с высокими показателями механической прочности представляет способ сульфитной щелочной варки при pH 8,0 ... 11,0 (в «горячем» состоянии), предложенный канадскими исследователями Инглубером и Аллардом [2–7], которые показали возможность получения широкого ассортимента полуфабрикатов из хвойной и лиственной древесины. В России исследования сульфитного щелочного процесса практически не проводились.

С учетом актуальности переработки лиственной древесины и ужесточения требований к охране окружающей среды цель данной работы – исследование процесса делигнификации березовой древесины по сульфитному щелочному способу (рис. 1).

Изучение зависимости pH варочного раствора от молярного соотношения SO_2 и NaOH показало, что в области pH 13,0 ... 14,0 (в «горячем» состоянии – 9,0 ... 10,0) эти растворы обладают значительной буферностью, обеспечивая небольшое снижение pH во время варки. Дальнейшие исследования проводили при pH 13,0 с варочными растворами постоянного состава, содержащими 3,9 % всей SO_2 . Концентрация Na^+ (в пересчете на NaOH)



Рис. 1. Схема проведения исследований

составляла 80 г/л. Снижение рН во время варки не превышало 0,25 ед. При исследовании закономерностей делигнификации применяли предварительную глубокую пропитку щепы сначала водой до полного насыщения, а затем варочными растворами при атмосферном давлении в течение 12 ч. Для лабораторных варок использовали щепу размерами $20 \times 20 \times 3$ мм и опилки фракции 0,5 мм. Комплекс исследовательских методов и методик базировался как на стандартных методах анализа, принятых в целлюлозно-бумажной промышленности, а также на общих инструментальных методах (УФ- и ИК-спектроскопия, гель-фильтрация, хроматография). При оценке содержания лигнина в древесном остатке учитывали «кислоторастворимый» лигнин (КРЛ), переходящий в фильтрат при анализе по методике Кениг–Комарова. КРЛ определяли спектрофотометрическим методом при длине волны $\lambda = 203$ нм, что позволяло исключить влияние поглощения сахаров и продуктов их деградации, которое сильно проявлялось в области $\lambda = 280$ нм; углеводный состав древесных остатков – методом нисходящей бумажной распределительной хроматографии в гидролизатах после определения редуцирующих веществ (РВ). В качестве растворителя использовали систему *n*-бутанол–ацетон–вода в соотношении 2:7:1. Относительная погрешность опытов не превышала 3 %. Фракционирование выделенного из щелоков лигнина проводили на колонке с сефадексом G-75. В качестве растворителя и элюента был выбран диметилсульфоксид.

На первом этапе исследований изучали интенсивность и избирательность делигнификации по сульфитному щелочному способу (рис. 2). При построении графиков учитывали продолжительность подъема температуры, приведенную к значению конечной.

Как видно из рис. 2, максимальное снижение выхода древесного остатка, отмеченное уже в первые 15 ... 40 мин варки (с учетом приведенного времени подъема до конечной температуры), связано, по-видимому, с развитием реакций щелочного гидролиза полисахаридов в условиях высокой

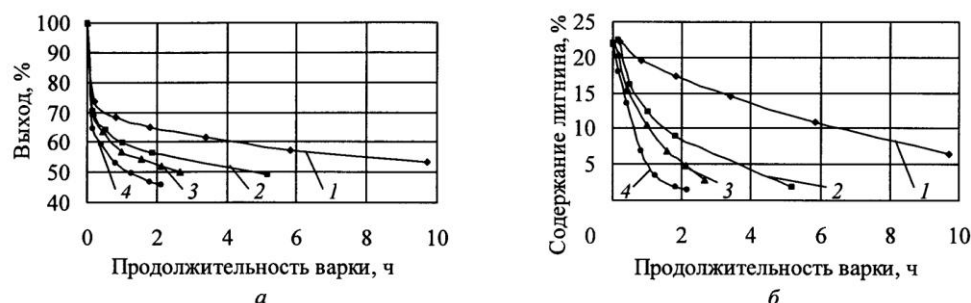


Рис. 2. Изменение выхода древесного остатка (а) и содержания в нем лигнина (б) в зависимости от продолжительности варки при температуре 150 (1), 160 (2), 170 (3), 180 °С (4)

концентрации гидроксильных ионов. Повышение температуры варки существенно ускоряет процесс делигнификации. В целом можно выделить два периода: в первом – при повышении температуры до конечной – происходит интенсивное растворение углеводов, лигнин при этом практически не растворяется; во втором – при варке на конечной температуре – избирательно удаляется лигнин при незначительном (около 5 % от исходной древесины) растворении углеводов.

Полученные данные хорошо согласуются со схемой щелочной варки, когда первыми подвергаются разрушению легкогидролизуемые гемицеллюлозы, затем начинает быстрее растворяться лигнин; в последнюю очередь происходит деструкция трудногидролизуемых полисахаридов и клетчатки. Разграничение периодов преимущественного удаления углеводов и лигнина свидетельствует о том, что сульфитная щелочная варка при pH 13,0 более целесообразна для получения полуфабрикатов с глубокой степенью провара.

Увеличение расхода SO_2 от 4 до 30 % от абс. сухой древесины оказывает существенное влияние на процесс делигнификации: снижаются как выход древесного остатка от 74,6 до 44,8 %, так и содержание в нем лигнина от 17,94 до 1,04 % (табл. 1).

Таблица 1

Влияние расхода SO_2 на процесс делигнификации при pH 13,0

Показатель	Значение показателя при расходе SO_2 , % от абс. сухой древесины					
	4	10	12	15	20	25
Выход древесного остатка, %	74,6	56,3	52,2	49,8	47,2	44,8
Содержание общего лигнина (ОЛ), % от древесного остатка	17,94	9,12	4,75	1,56	1,20	1,04
pH после варки	7,85	12,35	12,50	12,55	12,85	12,95
Избирательность ОЛ/У	0,581	0,682	0,742	0,786	0,728	0,680

Примечания. 1. Варки проводили при температуре 170 °С и соотношении $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH} = 1$; время подъема температуры до конечной – 1,5 ч; стоянка на конечной температуре – 5 ч. 2. У – углеводы.

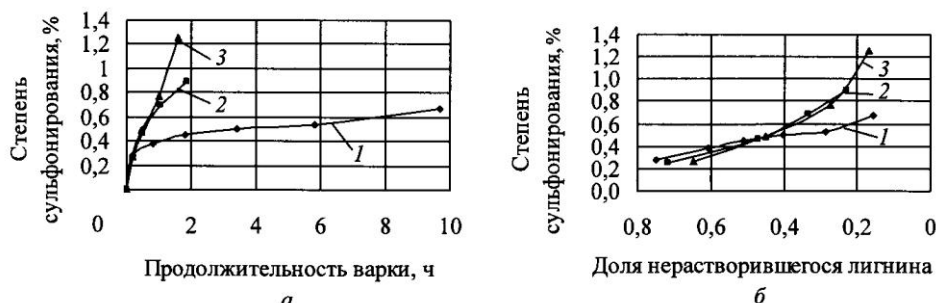


Рис. 3. Зависимость степени сульфонирования лигнина в процессе сульфитной щелочной варки от ее продолжительности (а) и доли нерастворившегося лигнина (б) при температуре 150 (1), 160 (2), 170 °С (3)

Высокое содержание лигнина в древесном остатке при расходе 4 ... 10 % SO_2 от абс. сухой древесины, возможно, связано как с недостатком химикатов на реакции с лигнином, так и с развитием процессов щелочной инактивации лигнина, которая имеет место в условиях дефицита варочных реагентов. Избирательность варочного процесса, определяемая как отношение количества растворившегося лигнина (Л) к количеству растворившихся углеводов (У), улучшается при увеличении расхода SO_2 от 4 до 15 %, затем начинает снижаться за счет опережающего растворения трудногидролизуемых полисахаридов.

Известно, что основными реакциями сульфитной делигнификации являются сульфонирование лигнина, его растворение и конкурирующий с ними процесс инактивации. Химизм делигнификации по сульфитному щелочному способу имеет свои особенности:

а) Степень сульфонирования лигнина не превышает 0,5 % до удаления 60 % лигнина, а затем несколько увеличивается при достижении глубокой степени провара. Введение в березовый лигнин около 1 % серы связано с растворением 80 % содержащегося в древесине лигнина. Повышение температуры варочного процесса способствует увеличению степени сульфонирования (рис. 3).

б) Предварительная инактивирующая обработка березовой древесины буферными растворами с pH 1,8 ... 10,5 при 150 °С не оказывает существенного влияния на последующую сульфитную щелочную варку (табл. 2).

В процессе инактивирующих обработок происходит частичное растворение лигнина и углеводов, максимальное – при pH 1,8. В этом случае имеет место интенсивный гидролиз полисахаридов до олиго- и моносахаридов. Анализ ИК-спектров исходной древесины и обработанной буферным раствором с pH 1,8 позволил предположить также развитие гидролитических процессов разрыва фенолгликозидных лигнин-углеводных и эфирных лигнин-лигнинных связей. В то же время происходит, вероятно, образование новых С-С связей и конденсация лигнина с формированием трехмерной сетки, что косвенно подтверждается низкой долей кислоторастворимого лигнина. Содержание лигнина в древесных остатках после варки березовой

Таблица 2

Влияние инактивирующих обработок на последующую сульфитную щелочную варку

Состав буферной смеси	рН	Древесный остаток после обработки				Древесный остаток после варки			
		Вы- ход, %	ОЛ, %		КРЛ/ ОЛ, %	Выход, %		ОЛ, %	
			от дре- весного остат- ка	от ис- ходной древе- сины		от древесины		от дре- весного остат- ка	от ис- ходной древе- сины
						обра- ботан- ной	ис- ход- ной		
Универсальная буферная смесь	1,8	64,4	25,3	16,3	9,7	40,0	25,8	1,1	0,3
Бура + янтарная кислота	4,1	81,7	23,6	19,3	12,8	46,1	37,7	1,1	0,4
Двузамещенный фосфорнокислый натрий + лимон- ная кислота	7,2	88,9	24,1	21,4	15	51,2	45,5	1,5	0,7
Бура + NaOH	10,5	81,8	21,0	17,2	11,9	58,7	48,0	2,9	1,4
	—	—	—	—	—	49,1	49,1	2,6	1,3

Примечание: Использовали опилки фракции 0,5 мм; обработку буферными растворами производили при температуре 150 °С; подъем температуры до конечной – 1 ч 45 мин, стоянка – 2 ч; конечная температура варки – 170 °С; стоянка на конечной температуре – 1 ч 45 мин.

древесины, предварительно обработанной буферными растворами с рН 1,8 ... 7,2, не превышает 1,5 % (0,7 % от исходной древесины). Низкий выход древесного остатка связан с удалением углеводов при предварительных обработках с рН 1,8, в меньшей степени – с рН 4,1. Предварительные обработки с рН 7,2 и 10,5, наоборот, способствуют стабилизации углеводного комплекса (рис. 4, кривая 1) и не вызывают замедления растворения лигнина при последующей щелочной варке (табл. 2).

в) Лигнин при сульфитной щелочной варке растворяется, по-видимому, как в виде щелочного лигнина, так и лигносульфонатов. Для подтверждения этого предположения было проведено последовательное выделение из щелока после варки при температуре 170 °С щелочного и сульфонированного лигнина. Осаждение щелочного лигнина производили путем предварительного подкисления щелока до рН 3,0, центрифугирования, промывки и сушки осадка в ва-

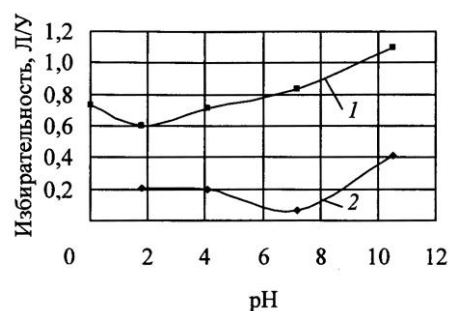
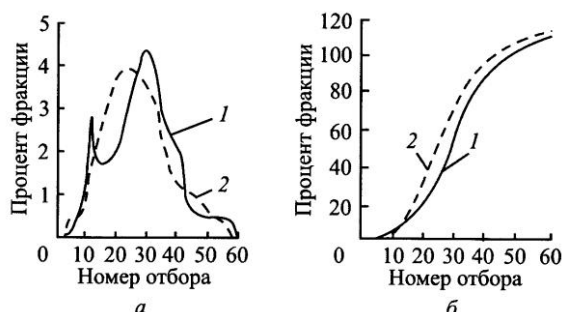


Рис. 4. Избирательность предварительных инактивирующих обработок (1) и последующей сульфитной щелочной варки (2)

куумном шкафу. Сульфонированный лиг-

Рис. 5. Дифференциальные (а) и интегральные (б) кривые гель-фильтрации щелочного (1) и сульфированного (2) лигнинов, выделенных из щелока после сульфитной щелочной варки



нин выделяли из маточного раствора после осаждения щелочного лигнина реакцией с гексааминокобальтихлоридом. При продолжительности варки 1 и 2 ч выход древесного остатка соответственно составил 55,4 и 51,5 %, содержание в нем лигнина – 7,7 и 4,2 %, соотношение щелочного и сульфированного лигнина – 43:1 и 33: 1.

Приведенные данные показывают, что в принятых условиях варки основную часть растворившегося лигнина составляет щелочной. С увеличением степени провара доля сульфированного лигнина несколько повышается, что соответствует увеличению степени сульфирования лигнина в твердом остатке и согласуется с предыдущими данными. Дифференциальная кривая гель-фильтрации щелочного лигнина имеет два максимума: первый – в высокомолекулярной области, второй – в области средних молекулярных масс. Сульфированный лигнин показал один максимум. Интегральная кривая гель-фильтрации щелочного лигнина сдвинута в область более низких молекулярных масс (рис. 5). Преобладание фракций со средней молекулярной массой свидетельствует о развитии деструкционно-полимеризационных процессов.

Реализация плана Бокса ($m = 3$) позволила получить уравнения регрессии, адекватно описывающие процессы удаления лигнина и углеводов при сульфитной щелочной варке. Уровни факторов и интервалы их варьирования были выбраны на основании предыдущих исследований (табл. 3)

Таблица 3

Параметры и уровни их варьирования

Параметр	Код	Уровень варьирования			Шаг варьирования
		верхний	нижний	нулевой	
Температура, °С	X_1	180	150	165	15
Расход химикатов, % в ед. Na_2O от абс. сухой древесины	X_2	20	12	16	4
Продолжительность варки, мин	X_3	240	60	150	90

7*

В результате статистической обработки результатов эксперимента получены следующие уравнения регрессии выходных параметров:

выход, %

$$B = 60,29 - 6,41X_1 - 6,28X_2 - 2,62X_3 - 1,76X_1^2 + 2,17X_2^2 - 1,16X_3^2 - 0,855X_1X_2 + 0,76X_1X_2X_3 - 0,11X_2X_3; \quad (1)$$

содержание лигнина, %

$$Л = 11,26 - 5,29X_1 - 5,36X_2 - 0,86X_3 + 2,14X_1^2 + 1,59X_2^2 - 1,91X_3^2; \quad (2)$$

содержание общих полисахаридов, %

$$ОП = 44,26 - 1,32X_1 - 1,19X_2 - 0,69X_3 - 0,71X_1^2 - 0,86X_2^2 + 0,24X_3^2; \quad (3)$$

содержание глюкозы, % от исходного

$$Г = 74,56 - 0,71X_1 - 0,54X_2 - 0,88X_3 - 0,056X_1^2 - 0,31X_2^2 - 0,256X_3^2; \quad (4)$$

содержание ксилозы, % от исходного

$$К = 33,78 - 2,0X_1 - 2,42X_2 - 1,16X_3 + 1,06X_1^2 + 1,565X_2^2 + 0,365X_3^2; \quad (5)$$

содержание галактозы, % от исходного

$$Г = 56,544 - 12,56X_1 - 12,54X_2 - 2,66X_3 + 1,41X_1^2 + 1,21X_2^2 - 1,394X_3^2. \quad (6)$$

Анализируя уравнения регрессии, можно отметить, что наибольшее влияние на ход варочного процесса оказывает увеличение температуры варки, несколько меньшее – увеличение расхода химикатов на варку. На последнем месте по влиянию на варочный процесс стоит продолжительность варки. В большей степени повышение температуры и расхода химикатов на варку сказывается на удалении галактозы из твердых остатков. Величины коэффициентов при квадратичных членах свидетельствуют о значительной нелинейности зависимостей. Из экспериментальных данных следует, что снижение выхода древесного остатка в интервале 100 ... 75 % происходит в основном за счет удаления углеводов, а в интервале 75 ... 45 % – за счет удаления лигнина. Наиболее быстро из древесного остатка удаляется ксилоза, затем галактоза. Глюкоза удаляется менее интенсивно. Содержание ее мало изменяется при изменении параметров варки и находится в пределах 71 ... 76 % от исходного содержания. По-видимому, эта часть в основном представляет собой собственно клетчатку.

Выводы

1. Сульфитный щелочной варочный процесс протекает в 2 этапа: на первом происходит интенсивное растворение углеводов, на втором – относительно избирательное удаление лигнина.

2. Разграничение периодов преимущественного удаления углеводов и лигнина свидетельствует о том, что сульфитная щелочная варка при pH 13,0 более целесообразна для получения полуфабрикатов с глубокой степенью провара.

3. При увеличении расхода химикатов на варку от 10 до 25 % SO_2 от абс. сухой древесины наблюдается резкое снижение выхода древесного остатка и содержания в нем лигнина. Избирательность варочного процесса улучшается.

4. При сульфитной щелочной варке процессы сульфонирования не получают существенного развития; растворение лигнина происходит преимущественно в виде более низкомолекулярного щелочного лигнина; доля сульфонированного лигнина несколько возрастает с увеличением степени провара полуфабриката; предварительные инактивирующие обработки в интервале pH 1,8 ... 10,5 практически не оказывают воздействия на удаление лигнина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратюк, В.А. Лесопромышленный комплекс: состояние, проблемы, решения [Текст] / В.А. Кондратюк. – М: МГУЛ, 2004. – 204 с.
2. Ingruber, O.V. Alkalische Sulfitaufschlüsse [Text] / O.V. Ingruber // Papier. – 1970. – N 10. – P. 711–727.
3. Ingruber, O.V. Alkalische Sulfitaufschlüsse [Text] / O.V. Ingruber // Das Papier. – 1970. – Vol. 24, N 10 A. – S. 711–727.
4. Ingruber, O.V. Alkaline sulphite pulping for (kraft) strength [Text] / O.V. Ingruber, G.A. Allard // Pulp and Paper Magazine of Canada. – 1973. – Vol. 74, N 11. – P. 84–99.
5. Ingruber, O.V. A.S-Alkaline sulphite pulping [Text] / O.V. Ingruber, G.A. Allard // Paper Trade Journal. – 1972. – Vol. 156, N 48. – P. 9.
6. Ingruber, O.V. Progress in pulping [Text] / O.V. Ingruber // Pulp and Paper International. – 1971. – Vol. 13, N 6. – P. 10.
7. Ingruber, O.V. Pulping with SO_3OH at hot pH 8...11 [Text] / O.V. Ingruber // Pulp and Paper Magazine of Canada. – 1970. – Vol. 71, N 22. – P. 23.

Тихоокеанский государственный
университет

Поступила 21.12.06

L.P. Majorova

On Some Peculiarities of Chemism of Sulphite Alkaline Cooking of Birch Wood

The regression equations are provided describing adequately the process of sulphate alkaline cooking for birch wood.

УДК 621.791.35:621.3.049.77.002.72

Н.И. Полежаева

Полежаева Наталья Ивановна родилась в 1954 г., окончила в 1977 г. Красноярский государственный университет, кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и физической химии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 130 работ в области переработки растительной биомассы в ценные вещества и создания на их основе новых продуктов и материалов.



НОВЫЕ ПРОДУКТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАНИФОЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ КОРЫ ПИХТЫ И ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Показано, что пихтовая и лиственничная канифоль, полученная при комплексной переработке коры, является полноценным заменителем сосновой живичной канифоли.

Ключевые слова: канифоль, скипидар, кора пихты, кора лиственницы сибирской, комплексная переработка, полиэфирная смола, термоокислительная деструкция

Основным сырьем для получения канифоли и скипидара в России является сосновая живица. В настоящее время принимаются меры по увеличению выпуска талловой и экстракционной канифоли, сульфатного скипидара. Однако темпы роста потребления канифольно-скипидарных продуктов значительно опережают рост их производства [2].

Отсутствие эффективных заменителей, сложность синтеза канифоли и скипидара на основе минерального и других видов сырья продолжают оставаться факторами, сдерживающими выпуск многих ценных продуктов, крайне необходимых народному хозяйству страны. Рациональное использование ресурсов, совершенствование технологии производства, улучшение качества канифоли и скипидара, создание на их базе более эффективных производных в ближайшее время – вот единственно реальная перспектива в удовлетворении нужд промышленности в канифольно-скипидарных продуктах.

Канифоль и ее производные находят широкое применение в композициях различного назначения: пропиточные составы, термопластичные композиции, лаки, краски, смазочно-охлаждающие и волоочильные жидкости, водорастворимые и полимерные флюсующие составы. В каждой из приведенных композиций канифоль должна обладать определенными специальными эксплуатационными качествами: высокими диэлектрическими свойствами, адгезией к различным материалам, пленкообразующими, смазочно-охлаждающими, волоочильными или флюсующими свойствами. Зная диапазон химических возможностей смоляных кислот канифоли и используя научные разработки в этой области, можно с успехом придавать канифоли те или иные физико-химические свойства. Большинство из вышепри-

веденных композиций получают и эксплуатируют в достаточно широком интервале температур (50 ... 300 °С и выше), при этом содержащаяся в них канифоль подвергается процессам термоокислительной деструкции, что отрицательно сказывается в дальнейшем на эксплуатационных свойствах самих композиций. Следовательно, одним из важнейших критериев при разработке новых композиционных составов является термостабильность их компонентов и, в частности, присутствующих в рецептуре канифоли и ее производных. Термостойкость канифоли и ее эфиров на воздухе и в аргоне была изучена методом термогравиметрии [1]. Как показали проведенные исследования, термоокислительная деструкция канифоли происходит в интервале температур 200 ... 220 °С, ее эфиров – 260 ... 340 °С. При этом в аргоне термодеструкция канифольных смол начинается при более высокой температуре, чем на воздухе. На воздухе канифольные смолы, имеющие сопряженные двойные связи, легко окисляются, а деструкция носит термоокислительный характер, поэтому получение новых продуктов, устойчивых к термоокислительной деструкции, является актуальной задачей.

Огромным, но практически не используемым резервом для получения канифоли и скипидара является кора хвойных пород деревьев. Ежегодно на предприятиях лесопромышленного комплекса России скапливаются десятки миллионов тонн коры.

Разработана технология комплексной переработки коры пихты и лиственницы, которая позволяет получать из нее целый ряд продуктов, в том числе и канифоль; выход ее из коры лиственницы составляет 4 %. При переработке пихтовой коры получают пихтовое масло, бальзам, пищевые красители, дубильные вещества и активные угли с выходом соответственно 2,1; 6,0; 16,0; 20,0 и 12,0 ... 15,0 % [4, 5]. Но производство канифоли более перспективно, о чем свидетельствует состав смоляных кислот пихтового бальзама (см. таблицу) [3].

Полученная при комплексной переработке коры лиственницы и пихты канифоль была использована, наряду с сосновой живичной канифолью, в качестве модификатора при синтезе органического связующего вещества

Кислота	Массовая доля, %, кислоты в пихтовом бальзаме
Пимаровая	1,2
Сандаракпимаровая и дигидро- абиетиновая	1,8
Левопимаровая и палюстровая	8,0
Изопимаровая	10,9
Абиетиновая и дигидро- абиетиновая	54,9
Неоабиетиновая	23,3
Неидентифицированные	Следы

для низкотемпературных припойных паст, применяемых при сборке и поверхностном монтаже гибридных интегральных микросхем. Ввиду того, что рабочая температура оплавления низкотемпературных припойных паст, в зависимости от состава припоя, для трафаретной печати составляла 200 ... 450 °С, для дозатора – 140 ... 350 °С, большое значение при разработке органической связки имеет термостабильность этих продуктов [6].

Для синтеза полиэфирных смол использовали этиленгликоль ($T_{\text{кип}} = 198 \dots 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $d_4^{20} = 1,115$), глицерин (290 °С; 1,260), малеиновый ангидрид (202 °С; 0,934), фталевый ангидрид (285 °С; 1,527). Для предотвращения побочных реакций синтез проводили в атмосфере аргона. Исходную смесь нагревали при температуре 195 ... 198 °С в течение 4 ч, затем добавляли пихтовую или лиственничную канифоль и реакцию присоединения проводили при температуре 198 ... 200 °С в течение 1 ч. Равновесие реакции поликонденсации смещали путем удаления из сферы реакции низкомолекулярного продукта – воды, используя ловушку Дина–Старка. Выход полиэфира – 90 % от загрузки. Продукт прозрачный, твердый, темно-желтого цвета. Температура размягчения полиэфирных смол – 95 ... 100 °С, кислотное число с лиственничной канифолью – 115 мг КОН·г⁻¹.

Параметры термоокислительной деструкции полученных полиэфирных смол были определены методом динамической термогравиметрии (ТГ). Для более точного определения температуры начала разложения смол по кривым ТГ наряду с кривой потери массы в методе динамической термогравиметрии были использованы кривые скорости потери массы (ДТГ) и разности температур в исследуемом веществе и инертном эталоне (ДТА). Исследование проводили на дериватографе фирмы МОМ Q-1000 системы E. Paulik, J. Paulik, L. Erdey в режиме программированного нагрева образца. Образец массой 0,05 г нагревали в платиновом тигле на воздухе, скорость нагрева 10 град·мин⁻¹. Чувствительность весов 100 мг, гальванометра ДТА – 1/3, гальванометра ДТГ – 1/10.

При нагревании полиэфирных смол установлено, что их разложение на воздухе происходит в 3 стадии в интервале температур 80 ... 600 °С. Первая стадия (80 ... 250 °С) характеризуется потерей массы в результате того, что исследуемая полиэфирная смола содержит растворитель, химически не связанные реакционную воду, остатки спирта и неомыляемые вещества, кипящие в данном интервале температур. Вторая стадия (310 ... 400 °С) характеризуется экзотермическим процессом окисления части образующихся продуктов. Третья стадия сопровождается сложным экзотермическим эффектом с характеристическими температурами (450 °С – температура начала экзотермического пика на кривой ДТА, связанного с началом окисления; 500 °С – температура, соответствующая процессу окисления образующихся при термическом разложении полиэфирной смолы газообразных продуктов).

Полученные данные (температура начала отклонения кривой дифференциальной ТГ, $T_{\text{д}}^{\text{ДТГ}} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура начала экзотермического эф-

фекта на кривой ДТА, связанного с началом окисления, $T_d^{ДТА} = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура деструкции по усредненным данным кривых ДТГ и ДТА, $T_d^{ср} = 475\text{ }^{\circ}\text{C}$) показывают, что модифицированные полиэфирные смолы устойчивы к термоокислительной деструкции, так же как и полиэфирная смола, модифицированная сосновой живичной канифолью [6].

Проверка на коррозионную активность полиэфирных смол на медных пластинках по ГОСТ 20.57.406–88 в камере влаги (температура $(40 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$, время 21 дн., влажность $(93 \pm 3)\%$) и оценка полученных результатов по ГОСТ 275.97–88 показали, что синтезированные полиэфирные смолы некоррозионноактивны и могут использоваться в качестве органической связки в низкотемпературных некоррозионноактивных припойных пастах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронникова, Г.В. Исследование термостойкости эфиров канифоли [Текст] / Г.В. Бронникова, Г.К. Падерина, В.В. Коленина // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. – 1983. – № 5. – С. 15–16.
2. Журавлев, П.И. Канифоль, скипидар и продукты их переработки [Текст] / П.И. Журавлев. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 72 с.
3. Кузнецов, Б.Н. Изучение смоляных кислот гексанового экстракта пихтовой коры [Текст] / Б.Н. Кузнецов, В.А. Левданский, Н.И. Полежаева // Лесохимия и органический синтез: сб. тез. докл. II Всерос. совещ. – Сыктывкар, 1996. – С. 42.
4. Пат. 2142489 РФ С 09 F 1/00, С 14 C 3/00. Способ переработки пихтовой коры [Текст] / В.А. Левданский, Н.И. Полежаева, Б.Н. Кузнецов. – Заявл. 20.07.98; опубл. 10.12.99, Бюл. № 34.
5. Пат. 2137821 РФ С 11 В 9/02, С 09 в 61/00. Способ переработки пихтовой коры [Текст] / В.А. Левданский, Н.И. Полежаева, А.П. Еськин, Л.В. Сафонова, Б.Н. Кузнецов. – Заявл. 20.07.98; опубл. 20.09.99, Бюл. № 26.
6. Полежаева, Н.И. Исследование устойчивости к термоокислительной деструкции полиэфирной смолы, модифицированной канифолью [Текст] / Н.И. Полежаева [и др.] // Журн. приклад. химии. – 2001. – Т. 74, № 4. – С. 684–685.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 11.04.07

N.I. Polezhaeva

New Products with Colophony Produced under Complex Processing of Fir and Siberian Larch Bark

Fir and Siberian larch colophony produced under complex bark processing is shown to be a full-value substitute of pine oleoresin.

УДК 676.017:543.645.4

П.А. Тупин, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов

Тупин Павел Алексеевич родился в 1984 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии, ассистент кафедры биомедицинской техники АГТУ. Имеет 1 печатную работу в области биотехнологии в ЦБП, программирования микроконтроллеров.



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области химической переработки древесины.



Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, президент Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 200 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.

**КРИОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ В ЦБП**

Показана возможность использования криоскопического метода для определения активности гидролитических ферментов, применяемых в ЦБП; разработана методика криоскопического определения активности амилазы.

Ключевые слова: криоскопия, гидролитические ферменты, активность, амилаза.

За последнее десятилетие применение ферментов в ЦБП существенно возросло. К настоящему времени круг их расширился и включает несколько классов ферментов. Кроме того, в результате проведенных научно-исследовательских работ удалось получить ферментные препараты, эффективно работающие в конкретных технологических условиях процессов ЦБП: амилазы – удаление чернил, роспуск массы; ксиланазы – улучшение отбелки крафт-целлюлозы, размол; целлюлазы – удаление чернил, улучшение обезвоживания, модификация поверхности, размол; липазы – удаление смолы при средних и высоких температурах; эстеразы – предотвращение налипания; протеазы – удаление слизи.

В последние годы был достигнут заметный прогресс в использовании и других классов ферментов, например таких, которые разрушают пектин, – для контроля заряда и переработки анионных отходов; оксидоредук-

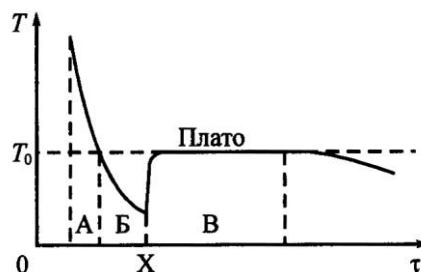
таз/лакказ – для повышения прочности ДВП и подобных продуктов. При переработке макулатуры ферменты в основном применяют для удаления чернил и крахмала, улучшения обезвоживания и контроля липкости [3].

Известно несколько методов определения активности ферментов: химические (метод концевых групп), термодинамические (криоскопический, эбулиоскопический), молекулярно-кинетические (вискозиметрический, метод диффузии, ультрацентрифугирование), оптические (колориметрический, спектрофлуорометрический, спектрофотометрический), манометрический (когда в исследуемых реакциях один из компонентов находится в газообразном состоянии). Большинство из этих методов требуют сложной процедуры пробоподготовки, использования дорогостоящих реактивов и сложного оборудования, характеризуются большой продолжительностью анализа. Кроме того, среды, в которых работают ферменты ЦБП (высокая оптическая плотность, вязкость), не позволяют применять для определения активности многие вышеперечисленные методы. Этих недостатков лишен криоскопический метод, основанный на измерении понижения температуры замерзания раствора по сравнению с температурой замерзания чистого растворителя.

Понижение температуры замерзания, соответствующее растворению 1 моля вещества в 1000 г растворителя, есть величина постоянная для данного растворителя. Она называется криоскопической константой растворителя. Для воды она равна 1,86 °С. Такое значение константы является относительно низким и требует прецизионного измерения температуры растворов малой концентрации.

Наиболее быстрым и точным способом измерения точки замерзания раствора является его охлаждение на несколько градусов ниже теоретической температуры замерзания (образец остается жидким), а затем механическое инициирование кристаллизации (например, легким постукиванием по стенкам пробирки). Высвобождающееся при росте кристаллов тепло поднимает температуру образца (смесь кристаллов и жидкости) до температуры замерзания данного раствора. Чувствительный термистор зонда прибора измеряет температуру пробы, контролирует степень переохлаждения, инициирование замерзания и измеряет температуру замерзания. За температуру кристаллизации принимают температуру, соответствующую горизонтальному участку на кривых охлаждения (рис. 1) [1].

Рис. 1. Зависимость температуры раствора T от времени τ при переохлаждении и последующей перекристаллизации: А – зона охлаждения раствора до температуры кристаллизации T_0 ; Б – зона переохлаждения раствора; Х – точка начала кристаллизации; В – зона завершения кристаллизации



Точность измерения температуры замерзания зависит в первую очередь от способа ее измерения. В лабораторной практике при проведении единичных измерений используют термометр Бекмана с ценой деления 0,01 °С, что недостаточно для проведения высокоточных и быстрых измерений. Поэтому перспективным является применение полупроводниковых датчиков и датчиков RTD, полученных методом напыления металлов (платина, медь).

В настоящее время фирмы-изготовители предлагают широкий ряд моделей криоскопов, практически не отличающихся возможностями и техническими характеристиками. Приборы позволяют определять массовую долю добавленной воды в заготавливаемом молоке, эффективные (осмотические) концентрации биологических жидкостей и водных растворов, а также температуру замерзания, соответствующую этим концентрациям [2].

Количественно активность фермента определяют по скорости протекания каталитической реакции. Ход реакции нелинеен во времени. Это может быть вызвано недостатком субстрата, ингибированием фермента, разрушением фермента при изменении pH среды, сорбцией фермента на субстрат. Поэтому следует определять начальную скорость реакции. За единицу активности фермента принимают такое его количество, которое катализирует превращение 1 моля субстрата за 1 мин. Для расчета расхода фермента общую активность выражают на единицу либо объема, либо массы.

Для измерения скорости ферментативной реакции необходимо подобрать буфер, который не тормозил бы исследуемую активность и обеспечивал pH раствора, близким к оптимальной для данного фермента. Реакцию проводят при температуре, лежащей в диапазоне 25 ... 90 °С.

При протекании ферментативной гидролитической реакции увеличивается число молекул, вследствие чего происходит понижение температуры замерзания раствора. Для определения скорости процесса криоскопическим методом из зоны реакции необходимо через некоторые интервалы времени производить отбор пробы и измерять температуру ее кристаллизации. При этом желательно, чтобы объем пробы был незначителен по сравнению с объемом реактора. Также для проведения экспресс-анализов стоит сократить продолжительность измерения, которая зависит от объема пробы, производительности холодильной установки, используемого алгоритма охлаждения. Получение достоверных результатов напрямую зависит от числа точек на графике – числа пробоотборов.

Созданная нами криоскопическая установка в целом отвечает этим требованиям. Продолжительность измерения (прокачивание – замораживание – оттаивание) – 3 мин; объем пробы – около 2,5 мл, что составляет не более 2,5 % от общего объема реактора (100 мл). Главным преимуществом прибора является полуавтоматический режим работы, так как процесс измерения может занимать несколько часов. Широкий диапазон регистрируемых температур и высокая точность обусловлены применением современного

24-разрядного аналого-цифрового преобразователя [4]. Основные технические данные криоскопической установки:

Диапазон измерения температуры замерзания.....	0,000 ... –15,000 °C
Абсолютная погрешность.....	± 0,001 °C
Объем пробы.....	2,5 мл
Продолжительность одного измерения.....	3 мин
Диапазон термостатирования пробы.....	25 ... 90 °C
Точность поддержания температуры термостатом.....	± 0,5 °C
Напряжение питающей сети.....	(220 ± 15) В
Частота питающей сети.....	50 Гц
Потребляемая мощность.....	≤ 150 В·А
Габаритные размеры	500×230×230 мм
Масса (без ПК и насоса)	3 кг

Принципиальная схема измерения температуры замерзания приведена на рис. 2. После оттаивания предыдущей пробы включается насос, который прокачивает жидкость из химического реактора через металлическую трубку, закрепленную на холодильнике. После прокачивания начинается охлаждение пробы в трубке термоэлектрическим элементом Пельтье. Для того, чтобы кристаллизация не была спонтанной, а происходила при переохлаждении пробы на несколько градусов ниже теоретической температуры замерзания, используют механическое инициирование процесса. Устройство инициализации представляет собой стальной шарик на упругой подвеске с осевым расположением в металлической трубке с

Рис. 2. Принципиальная схема измерения температуры замерзания: 1 – сигнал от термодатчика в компьютер, 2 – металлическая трубка с пробой, 3 – термодатчик, 4, 7 – устройство инициализации кристаллизации, 5 – к насосу, 6 – блокировка потока жидкости, 8 – управление устройством инициализации кристаллизации из компьютера, 9 – элемент Пельтье, 10 – трубка отбора жидкости для анализа, 11 – термостатируемая реакционная ячейка, 12 – магнитная мешалка, 13 – термостат

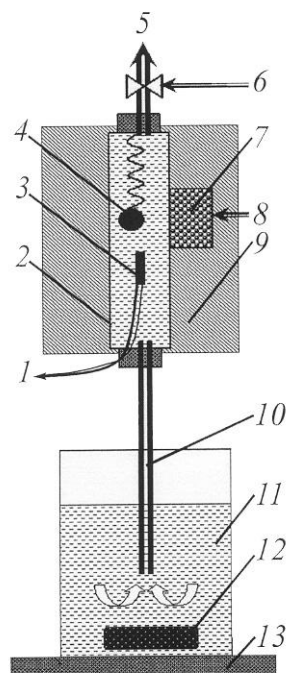
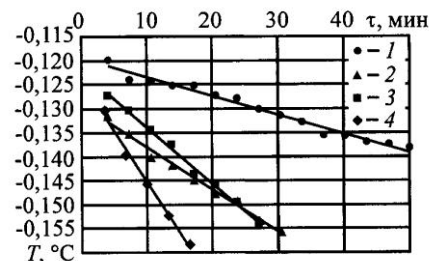


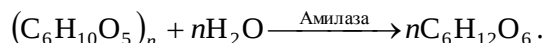
Рис. 3. Зависимость температуры кристаллизации T раствора крахмала от времени τ при различном объеме V вносимого фермента: 1 – $V = 1$ мкл; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 5 мкл



пробой. При достижении необходимой температуры компьютер подает импульсы на электромагнит, охватывающий трубку. При соударении шарика со стенкой трубки происходит образование центров кристаллизации, далее начинается лавинообразный процесс замерзания всего объема пробы. Выделяющееся при кристаллизации тепло поднимает температуру пробы до так называемого плато (см. рис. 1), которое и соответствует температуре замерзания раствора. После превращения всего объема жидкости в лед температура начинает опускаться. Охлаждение отключают, и после полного оттаивания цикл повторяют.

Для реализации полуавтоматического режима управление прибором осуществляют с помощью ПК. Интерфейс компьютерной программы CRIO реализует режим «виртуального прибора», отображая на мониторе ПК состояние всех узлов и происходящие с реальным прибором процессы.

Созданная криоскопическая установка опробована для измерения активности амилазы. Уравнение ферментативного гидролиза крахмала с образованием глюкозы выглядит следующим образом:



Использовали 3 %-й раствор крахмала, в термостате поддерживали температуру 40 °С. После термостабилизации к 100 мл субстрата добавляли требуемое количество фермента и запускали автоматический процесс пробоотбора и измерения.

На графике (рис. 3) изображены четыре зависимости температуры замерзания раствора крахмала с различным объемом вносимого фермента от времени.

На рис. 4 приведена зависимость скорости реакции w , рассчитанной на основе предыдущих графиков (отношение тангенса угла наклона прямой к криоскопической константе воды), от объема внесенного фермента. Из уравнения корреляционной прямой ($w = 0,2232x_2$; $R^2 = 0,99629$) следует, что активность амилазы равна 0,204 ммоль/(мин·мкл). Коэффициент достоверности аппроксимации равен 0,998, и зависимость экстраполируется в 0.

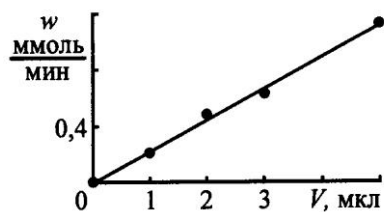


Рис. 4. Зависимость скорости реакции от объема V вносимого фермента амилазы

Это свидетельствует о хорошей воспроизводимости и достоверности результатов, полученных на изготовленной криоскопической установке.

Следует добавить, что установка позволяет проводить любые исследования, связанные с изменением концентрации веществ в растворе (химические реакции, процессы растворения, сорбции и т.п.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30562–97 (ИСО 5764 – 87). Молоко. Определение точки замерзания. Термисторный криоскопический метод [Текст]. – Введ. 1999.01.07. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии, сертификации, 1999. – 8 с.
2. Осмометры-криоскопы термоэлектрические типа МТ-5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bourevestnik.spb.ru/>. – 01.05.05.
3. Петерсен, Х.Х. Применение ферментов в технологии переработки макулатуры [Текст] / Х.Х. Петерсен // Науч. тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры». – Караваево, 2006. – С. 31–34.
4. AD7714 3V/5V, CMOS, 500 mA Signal Conditioning ADC [Текст]. – Analog Devices, 1998. – 40 p.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 07.05.07

P.A. Tupin, D.G. Chukhchin, O.M. Sokolov
**Cryoscopic Method for Determining Enzyme Activity in
Pulp-and-paper Production**

The possibility of applying cryoscopic method for determining the hydrolytic enzymes activity used in pulp-and-paper production is shown. The technique for cryoscopic determining the amylase activity is developed.



ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630*652

Е.С. Романов, И.В. Лаврова

Романов Евгений Самуилович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики отраслей Архангельского государственного технического университета, заслуженный экономист РФ, действительный член РАЕН. Имеет более 180 печатных научных работ в области экономики лесного сектора, экономической эффективности инвестиций, экономических особенностей лесозаготовительной промышленности.



Лаврова Инна Владимировна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры экономики отраслей АГТУ. Имеет 15 научных работ по проблемам экономической эффективности в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности.

**ЭВОЛЮЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ-ПОСТАВЩИКОВ
И ПЕРЕРАБОТЧИКОВ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ***

Показано, что вопрос о связях между лесозаготовителями и перерабатывающими предприятиями при социализме и в переходном периоде трактуется недостоверно. Влияние «распада связей» явно преувеличено. Высказаны рекомендации для современного этапа.

Ключевые слова: лесозаготовки, лесопиление, древесное сырье, пиловочник, цены поставщиков и переработчиков.

Современную лесопильную промышленность России можно охарактеризовать следующими признаками:

- самая «старая» из лесопромышленных отраслей, традиционно развитая в России и особенно в Архангельской области;
- прошедшая в мире пик развития, утратившая былую роль на рынках – мировом и внутреннем;

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ и администрации Архангельской области в рамках проекта № 06-02-48203 а/с «Пути расширения зон экономической доступности полноценного сырья для лесопильного производства в Архангельской области».

– имеющая второстепенные позиции в номенклатуре изделий глубокой переработки древесины и, следовательно, не числящаяся в перспективных;

– работающая в России на устаревшем оборудовании без прогнозируемых перспектив обновления;

– фактически находящаяся в зоне убыточности в рублевом исчислении и спасающаяся за счет экспорта.

Парадокс состоит в том, что этой увядающей отрасли требуется самое лучшее древесное сырье. Оно уже давно дефицитно, хотя причины тому разные.

Есть досужие представления, что в плановой советской экономике существовали четкие постоянные связи лесопильных заводов с поставщиками пиловочника, надежная сбалансированная система обеспечения сырьем. Тогда в лесоснабжении – лесосбыте использовались обе известные формы поставок – транзитная и складская. Главной была *транзитная* – от места производства лесоматериалов непосредственно потребителю. Поставщиком круглого леса выступал леспромхоз; транспорт являлся самостоятельным звеном. *Складская* форма осуществлялась через перевалочные базы, лесные биржи, порты. Почти все они получали лесоматериалы круглые сплавом, выкатывали лес на берег и отгружали потребителям большей частью по железным дорогам. Близлежащие потребители, естественно, пользовались и автотранспортом. Перевалка с суши на водный транспорт если и имела место, то очень давно. Объемы лесоперевалки по стране измерялись десятками миллионов кубометров, в северодвинском бассейне они ежегодно составляли 4 млн м³. Лесобазы занимались и переработкой древесины.

В настоящее время все лесоперевалочные базы прекратили существование. Это явление осталось незамеченным ни лесозаготовительной наукой, ни социологией. Исчезновение лесоперевалочных баз, сведение лесосплава до смехотворных объемов в 2006–2007 гг. – эти масштабные и глубокие по сути события в истории лесного сектора экономики СССР и России стали судьбоносными для всей лесозаготовительной отрасли, для обеспечения страны древесными ресурсами. Именно древесными, а не лесными, которые все еще имеются в достатке (на корню), но и они с каждым годом становятся все менее доступными.

В данное время (2007 г.) состояние снабженческо-сбытовых связей в «лесных» субъектах РФ примерно одинаково. В Архангельской области действует более тысячи лесозаготовителей, не считая незаконных. Достаточно крупных по современным меркам около 70; большинство их входит в *вертикально-интегрированные структуры*, которые именуются (не совсем корректно) *холдингами*. В рамках холдингов доставку сырья в Архангельск, Онегу ведут обе стороны – лесозаготовители и переработчики. В основном используют автотранспорт, в том числе и по магистрали Архангельск – Москва, что вызывает много нареканий. По автодороге Северодвинск – Онега осуществляется прямая доставка хлыстов Онежскому ЛДК. Архангельский ЦБК располагает большим парком железнодорожных хлыстовозов;

есть они и у других переработчиков. Участие самих леспромхозов в доставке сырья покупателям незначительно. Поставки в плотях в 2006 г. были сорваны из-за маловодья рек, в 2007 г. равнялись лишь 490 тыс. м³. Перевозки в баржах составили: в 2006 г. – 1,2; в 2007 г. – 1,3 млн м³. Вклад «теневого» сектора точно неизвестен, но наличие его не оспаривается.

На Архангельском Севере связи с поставщиками насчитывают более трех веков. В них немало поучительного, о чем свидетельствует ряд источников [2 и др.]. Советский период этих отношений нашел весьма живое отражение в книге В.С. Плохова [1], много лет возглавлявшего лесопромышленное объединение «Архангельсклеспром» – одно из крупнейших в СССР. Именно к ней следует отослать всех тех, кто считал и все еще считает, что в СССР существовали прочные технологические связи лесопереработчиков с поставщиками и что именно разрыв этих связей в эпоху Б. Ельцина – Е. Гайдара привел к спаду, а потом и кризису в лесопромышленном комплексе. В этой книге показано, как Минлеспром и Госснаб СССР непосредственно из Москвы или через своих эмиссаров, присланных в Архангельск, командовали потоками древесного сырья через голову Архангельсклеспрома и, конечно, совершенно не считались с интересами местных лесозаводов, ЦБК, леспромхозов. Так, в 1987 г. лесоэкспортные заводы Архангельска надолго остались без пиловочника, спешно, в волевом порядке отправленного в центр страны. Лесопильщики Коноши, Шалакуши и др., находившиеся рядом с одноименными леспромхозами, получали сырье «в плановом порядке» откуда-то за сотни километров, а коношский пиловочник шел в Москву. Обратимся более подробно к событиям 1987 г.

Со времени образования треста «Северолес» за 65 лет (1921–1986 гг.) 42 % всего экспорта пиломатериалов из СССР было выработано на лесозаводах Архангельской области. Однако постепенно проявлялось значительное отставание ПО «Северолесэкспорт». Основными причинами были ослабление внимания к реконструкции и техническому перевооружению лесозаводов и ставшее хроническим невыполнение планов поставок заводам пиловочного сырья. ВЛПО «Архангельсклеспром», поддерживаемое Архангельским обкомом КПСС, добивалось от Минлеспрома и Госснаба СССР подчинения сортиментной программы лесозаготовок задачам экспортного лесопиления, неукоснительного выполнения планов поставок пиловочника сплавом из Коми АССР и Вологодской области, запрета на вывоз пиловочника из Архангельской области. Система централизованного планирования в принципе могла удовлетворить эти запросы, соответствовавшие общегосударственным интересам. Однако Москва продолжала настаивать на первоочередных поставках сырья комбинатам республик Прибалтики, Калининградской и Ленинградской областей. Поставки пиловочника Северолесэкспорту были отодвинуты на второй план. Не помогла и передача Северолесэкспорта в состав Архангельсклеспрома в июне 1986 г. Этот год оказался примечательным тем, что весьма значительная часть древесины пиловочных размеров была вывезена за пределы Архангельской области и *сдана бумкомбинатам балансами*. А для обеспечения Архангельского и Котлас-

ского ЦБК ввезли сотни тысяч кубометров сырья из других областей, в том числе Пермской, Свердловской, Тюменской. За 1986 г. и половину 1987 г. лесозаводам недопоставили более 600 тыс. м³ пиловочника. Вину центральные органы, конечно, возложили на Архангельсклеспром.

Сказанное позволяет сделать ряд важных выводов. В социалистической экономике СССР, которая характеризовалась как централизованно планируемая и административно-командная, вторая сторона явно преобладала, особенно когда начала проявляться наступающая агония всей системы. Между отраслями лесного сектора не было ни пропорциональности, ни сбалансированности в целом по стране и еще более внутри областей, краев, автономных республик.

Из описанных выше весьма масштабных событий двадцатилетней давности невозможно извлечь что-либо полезное для нынешней экономики. Есть, однако, интерес исторический, теоретический. В отношениях между двумя отраслями – лесопильной и лесозаготовительной – главную роль играли тогда не потребители-лесопильщики, а поставщики-лесозаготовители. Лесопильные заводы и комбинаты не были ни покупателями, ни даже заказчиками; все определяли «сверху» Минлеспром и Госснаб: объемы, цены, направления потоков сырья. Все шло вразрез с коммерческой логикой, когда спрос определяет объемы и ассортимент сырья. Но это не являлось и «рынком продавца», поскольку лесозаготовители объективно не справлялись с планами, в которых, как мы видели, царила настоящая чехарда. Вывод один: в советской плановой экономике ни в лесопилении, ни в ЦБП не было системы отлаженных связей между лесопереработчиками и поставщиками древесного сырья. Ведущую роль советское государство субъективно отводило лесозаготовительной отрасли, принимая одно за другим постановления ЦК КПСС и Совмина по лесозаготовкам, кончая включением Северолесозэкспорта в состав Архангельсклеспрома.

Из истории следует сделать другой важный вывод: в такой большой стране, как Россия, для лесозаготовок и лесосплава государственная собственность и вся социалистическая система хозяйства были во всех отношениях и проявлениях более благоприятной средой, чем частная собственность. Эти отрасли и тогда существенно отличались от идеала в техническом, социальном, экологическом смыслах. Но не возникало ни малейшего сомнения в том, что они нужны, должны и будут развиваться. Ныне лесосплав уходит в прошлое, лесозаготовки влачат жалкое существование.

Серьезные экономисты ни в теории, ни на практике не ставили задачу сделать каждую область (хотя бы из числа многолесных) замкнутым лесопромышленным комплексом. В Архангельск по р. Северной Двине и Вычегде ежегодно поступали миллионы кубометров леса от леспромхозов Вологдалеспрома и Комилеспрома, одновременно из области шел поток древесного сырья в центральные и западные регионы. Внутренние связи архангельских ЦБК и ЛДК с поставщиками сырья (леспромхозы, лесоперевалочные базы) оставались на втором плане, то и дело нарушались, перекраивались. Они не были устойчивыми, многолетними, как это кажется тем, кто не

знал и не знает действительного положения дел. Конечно, связи, контакты, плановые поставки существовали, но без прочной основы. Неудивительно, что с ликвидацией Минлеспрома и его объединений, акционированием и приватизацией предприятий как перерабатывающих, так и заготовительных связи пришлось устанавливать заново. Разрывать было нечего: в советской экономике они устанавливались директивно, сверху, ежегодно менялись. Причиной спада стал не просто их разрыв, а глобальное событие – переход от общегосударственной собственности к частной.

Связь леспромхоза с лесозаводом, ЦБК вообще не является строго технологической. Используя предоставленные рыночными отношениями и законодательством возможности, переработчик может купить сырье где угодно, даже за границей, а лесозаготовитель продать свой продукт кому угодно. Все решают цены, а не связи. Нормальных связей нет до сих пор. И ныне Архангельский ЦБК покупает балансы за Уралом, а не у архангельских лесозаготовителей. В шумихе вокруг разрыва связей в начале 1990-х больше политики, чем экономики.

Распад экономики СССР нарушил даже шаткие пропорции между лесными отраслями в каждой области, крае, республике. Комплексов сбалансированных, пропорциональных не было и в СССР, тем более их нет в России. «Лесопромышленный комплекс» это в большей степени речевой штамп, чем реально существующее явление. С переводом в ОКВЭД лесозаготовок в состав лесного хозяйства и этот штамп стал некорректным.

Ситуация первой половины 2007 г. отражает влияние только что вступившего в силу нового Лесного кодекса. Соотношение спроса и предложения на сырье, конечно, ничуть не изменилось, зато появились попытки государственных органов повлиять на рыночные процессы. С ликвидацией областных агентств по лесному хозяйству их функции перешли к департаментам администрации. В Архангельской области образован единый Департамент лесного комплекса, куда входит государственное лесное хозяйство и контакты с лесопромышленниками, которые все являются частными. Департамент издал приказ, по которому к участию в аукционах на древесину от промежуточных и санитарных рубок допускаются только предприниматели из Архангельской области. Речь идет о 700 тыс. м³ пиловочника и 700 тыс. м³ балансов от промежуточного пользования, а также 5 млн. м³ от санитарных рубок. Предполагается, что вся эта древесина будет направлена на переработку внутри области (считается, что сейчас архангельским переработчикам не хватает 4 млн. м³ сырья). Такое решение (приказ) уже оспорено в антимонопольной службе. Пример этот довольно типичный, годный для разбора на занятиях по экономической теории. По смыслу рыночных отношений, приказ (даже если его признают законным) не достигнет своей цели, может привести к понижению цен на сырье и дальнейшему ухудшению положения лесозаготовителей, уменьшению доходов областного бюджета.

Столь же неопределенны ожидаемые последствия повышения (на 20 %, но не менее 10 евро за 1 м³) вывозных пошлин на круглые лесоматериалы. Ясно, что это существенно осложнит ситуацию в Карелии, на Даль-

нем Востоке и др., где круглый лес занимает в структуре экспорта 50 % и более. Наивно, однако, ожидать немедленных вложений в строительство лесоперерабатывающих предприятий, даже после повышения пошлин до 15 евро с января 2008 г. и до 50 евро еще через год. В Архангельской области круглый лес занимает в экспорте лишь 2,5 % (в 2006 г. – 236 тыс. м³). Ясно, что повышение пошлин не вызовет заметных изменений и ожидать пиловочника местным лесопильщикам не следует. Более обоснованны мнения экспертов, что европейские переработчики не откажутся от российского сырья при любом росте пошлин, поэтому в накладе останутся только отечественные лесозаготовители.

Занятость лесозаготовителей и судьба лесных поселков – один из главных вопросов в сложном переплетении интересов, связанных с поставками древесного сырья. Рыночные процессы не сулят им ничего хорошего, неуклюжее вмешательство регионалов не поможет. Ни в одном из субъектов РФ нет специальной программы по лесозаготовкам: все идет стихийно. Ситуация более или менее удовлетворительна лишь в рамках холдингов, но они не прогрессируют. Альтернативой могло бы стать превращение государственных учреждений – лесхозов в комплексные лесные предприятия, занимающиеся лесозаготовками, переработкой, лесовосстановлением. Однако новый Лесной кодекс задал вектор развития в противоположном направлении. Богатейшие лесные ресурсы России не приносят пока народу ничего, кроме разочарований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плохов, В.С.* Лесопромышленный комплекс Архангельской области: этапы развития (1703-2001) [Текст] / В.С. Плохов. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – С. 335–345.
2. *Романов, Е.С.* Лесопромышленный комплекс [Текст] / Е.С. Романов // Поморск. энциклопедия. Т. 3. Экономика Арханг. Севера. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2006. – С. 159–163.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 26.12.06

E.S. Romanov, I.V. Lavrova

Evolution of Economic Relations of Enterprisers – Suppliers and Processors of Wood Raw Material

It is shown that the question of relations between forest harvesters and wood processing enterprises under socialism and in the transition period is treated inadequately. The influence of “relationship disintegration” is apparently exaggerated. The recommendations for the present stage are formulated.

УДК 630*68

В.И. Мосягин, Пэй Яньчжао

Мосягин Владимир Ильич, родился в 1939 г., окончил в 1963 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор экономических наук, профессор кафедры маркетинга и основ менеджмента С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, действительный член Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы. Имеет более 200 печатных работ в области экономики лесного комплекса и природоохранной деятельности.



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ

На основании современного эколого-экономического подхода, отечественного и зарубежного опыта последних лет определена и обоснована система показателей оценки экономической эффективности использования вторичных древесных ресурсов в качестве энергоносителя.

Ключевые слова: вторичные древесные ресурсы, древесное топливо, природоохранные платежи, энергетическая ценность топлива.

Высшим приоритетом энергетического комплекса любой страны является эффективное, безопасное и устойчивое его функционирование, что в значительной степени зависит от наличия и рационального использования «энергетического сырья». Одним из перспективных источников энергии является древесная биомасса, в том числе вторичные древесные ресурсы (ВДР). Особую значимость использование ВДР в качестве топлива имеет для лесного комплекса как России, так и КНР, где сосредоточена основная масса древесных отходов. К тому же лесозаготовительные и деревоперерабатывающие предприятия, как правило, расположены в зонах децентрализованного энергоснабжения и являются поселкообразующими. ВДР возобновляются, сжигание древесины не вызывает увеличения парникового эффекта в атмосфере и не нарушает экологической чистоты. Однако это не исключает настоятельной необходимости в обосновании экономической эффективности утилизации ВДР в качестве энергоносителя. Экономические расчеты с достаточной ясностью должны ответить на вопросы: каковы затраты на сбор ВДР, их транспортировку, переработку в щепу, брикеты, гранулы; каков экономический эффект от проведения подобных мероприятий и какие из них должны быть приняты к внедрению?

В качестве обобщающего показателя экономической эффективности энергоиспользования ВДР, по нашему мнению, выступает прибыль. Снижение прибыли свидетельствует, что использование ВДР становится менее эффективным. При отрицательном значении прибыли (убытки) утилизацию ВДР следует считать экономически нецелесообразной.

В общем виде прибыль (Π) от утилизации ВДР рекомендуется исчислять по формуле

$$\Pi = C_{т.т} M_{т.т} - M_{вдр} Z_{вдр},$$

где $C_{т.т}$ – цена 1 т традиционного топлива франко-котельная, р.;

$M_{т.т}$ – потребность в традиционном топливе, т;

$M_{вдр}$ – потребность в ВДР, подготовленных для сжигания, т;

$Z_{вдр}$ – удельные затраты, связанные с утилизацией ВДР в качестве топлива, р./т;

Приведенная формула выражает основное требование рациональной организации производства энергии из ВДР. Однако практическая реализация этого требования возможна лишь при условии: $P_{вдр} \geq M_{вдр}$, т. е. наличные ресурсы древесных отходов ($P_{вдр}$) должны быть больше потребности в них на рассматриваемые цели. Это требование выступает важным ограничительным фактором использования ВДР.

Следующим обобщающим показателем выступает рентабельность инвестиций (R):

$$R = \frac{\Pi}{I} 100 \%,$$

где I – инвестиции (единовременные затраты), необходимые для утилизации топливных ВДР в качестве энергоносителя.

По мнению авторов, рентабельность инвестиций не должна быть ниже ставки рефинансирования ($C_{рф}$) Центрального Банка (ЦБ) РФ или КНР, т. е.: $R \geq C_{рф}$.

Использование в системе показателей рентабельности инвестиций объясняется несколькими причинами, в частности:

- организация утилизации топливных ВДР, помимо текущих расходов, требует единовременных затрат, расходуемых экономично и находящихся под надлежащим систематическим контролем;

- прибыль как показатель экономического эффекта еще не свидетельствует об эффективности единовременных затрат, что важно учитывать при обосновании экономической эффективности утилизации ВДР;

- показателем эффективности таких затрат выступает рентабельность инвестиций, увязывающая прибыль с единовременными расходами;

- вовлечение в оборот инвестиционных затрат должно быть результативным, наращивание капитала – не ниже ставки рефинансирования ЦБ.

Получение более полной и всесторонней экономической характеристики организации использования ВДР в качестве топлива вызывает потребность применить ряд дополнительных, частных показателей, назначение которых детализировать обобщающие показатели, выделить и сопоставить отдельные затраты и результаты и тем самым аргументированно показать преимущества и недостатки утилизации ВДР в рассматриваемом направлении.

Одной из важных составляющих эффективности замены вторичными древесными ресурсами традиционных видов топлива выступает эконо-

мια условного топлива ($\mathcal{E}_{\text{ул.т.}}$). Этот показатель может быть определен по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ул.т.}} = K_{\text{п}} M_{\text{т.т.}} Q_{\text{т.т.}},$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент эквивалентного перевода 1 ГДж в 1 т усл. т (0,034).

Топливное направление утилизации ВДР – важный фактор охраны окружающей среды, в частности атмосферы и земельных ресурсов, имеющих явно выраженную экологическую направленность. В связи с этим в качестве дополнительного показателя может выступать предотвращенный ущерб (ΔY), вычисленный по отдельным природным составляющим:

$$\Delta Y = \Delta Y_{\text{ат}} + \Delta Y_{\text{зр}},$$

где $\Delta Y_{\text{ат}}$ – предотвращенный ущерб атмосферному воздуху;

$\Delta Y_{\text{зр}}$ – то же земельным ресурсам.

Наряду с предотвращенным ущербом, снижение нагрузки на окружающую природную среду сопряжено с сокращением платы за загрязнение воздушного бассейна ($\Delta H_{\text{ат}}$) и размещение отходов ($\Delta H_{\text{о}}$). Сокращение общей суммы платежей (ΔH) составит:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{ат}} + \Delta H_{\text{о}}.$$

Воспроизводство, как известно, происходит не только в натуральной форме, поэтому дополнительными могут быть и стоимостные показатели. Их значительное число вызвано весьма разнообразными изменениями в экономике, связанными с утилизацией ВДР в качестве топлива.

Экономическая эффективность энергоиспользования ВДР

Показатель	Значение показателя
Потребность в топливном мазуте, т	2600
Потребность в топливной щепе из ВДР, т	12090
Ресурсы древесных отходов, т	20540
Затраты, связанные с утилизацией ВДР в качестве топлива, р./т.:	
текущие	194,8
единовременные	1436,0
Прибыль, тыс. р.	11425
Рентабельность инвестиций, %:	
проектная	64,8
минимально-нормативная	13,0
Экономия условного топлива, т	3650
Коэффициент энергетической ценности топливной щепы	0,215
Ущерб атмосферному воздуху, млн р., при сжигании:	
мазута	220,8
щепы	124,1
Предотвращенный ущерб, млн р.	96,7
Размер платежей за выброс вредных веществ в атмосферу при сжигании ВДР, тыс. р.	7,4

С учетом изложенного экономическую оценку топливного использования вторичных древесных ресурсов следует строить на следующей системе показателей:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{т.т} M_{т.т} - M_{вдр} Z_{вдр} \rightarrow \max \Pi; \\ \text{при условии } P_{вдр} > M_{вдр}; \\ R = \frac{\Pi}{I} 100 \% \geq C_{рф}; \\ \mathcal{E}_{усл.т} = K_{п} M_{т.т} Q_{т.т}; \\ \Delta Y = \Delta Y_{ат} + \Delta Y_{зр}; \\ \Delta H = \Delta H_{ат} + \Delta H_{о}. \end{array} \right.$$

На основе разработанной модели авторами выполнены экспериментальные расчеты по обоснованию экономической эффективности использования ВДР в качестве топлива применительно к условиям Приозерского района Ленинградской области (см.таблицу).

Как видно из приведенных данных, энергоиспользование ВДР характеризуется высокой экономической эффективностью. В частности, применительно к условиям Ленинградского региона, утилизация топливной щепы как ВДР в количестве 12 тыс. т взамен мазута позволяет получить прибыль в сумме 11,4 млн р., ежегодно экономить 3650 т условного топлива, окупая инвестиции за 1,5 года и улучшая среду обитания человека.

С.-Петербургская
лесотехническая академия

Поступила 15.11.06

V.I. Mosyagin, Pei Yanzhao

Economic Efficiency of Using Secondary Wood Resources for Energy Purposes

The parameters' system for economic efficiency assessment of secondary wood resources as the energy carrier is determined and substantiated based on the contemporary environmental-and-economic approach, Russian and foreign experience of recent years.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 658.264

*В.М. Боровков, Е.М. Михайлова***ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Предложена система отпуска тепловой энергии от ТЭЦ и пиковой котельной. Дано обоснование тарифов на тепловую и электрическую энергию от Северо-Западной ТЭЦ г. С.-Петербурга.

Ключевые слова: теплоснабжение, электрическая и тепловая энергия, парогазовые станции, методы контроля.

Вопросы повышения эффективности теплоэнергетики требуют применения наиболее эффективных технологий сжигания, в первую очередь рационального использования природного газа. Перспективным направлением является и внедрение комбинированных парогазовых станций.

Мероприятия по повышению эффективности энергоснабжения необходимо разрабатывать применительно к конкретному мегаполису (городу). Функционирование того или иного мегаполиса сталкивается с проблемами теплоснабжения; выбором установки, генерирующей тепловую и электрическую энергию; экологическими.

Проблемы теплоснабжения подразделяют на технические и экономические.

Технические проблемы [14, 15]. К ним относятся:

значительная доля устаревшего оборудования на ТЭЦ и котельных;

низкое качество составляющих системы централизованного теплоснабжения в целом;

применение в ограниченном количестве эффективных методов контроля и диагностики состояния трубопроводов;

сложность, а порой и невозможность соблюдения требуемых тепловых гидравлических режимов при определенном дефиците топлива и опасение выхода из строя ненадежных участков тепловых сетей;

расточительность энергетических ресурсов вследствие потерь тепловой энергии и отсутствия действенных мер по энергосбережению во всех звеньях системы централизованного теплоснабжения;

значительная доля мелких неавтоматизированных котельных с низким КПД.

Экономические проблемы. Рынок теплоснабжения в России находится в переходном состоянии от естественной монополии к конкурентному. Это сопряжено с тем, что некоторые потребители отказываются или имеют намерение отказаться от услуг централизованных систем. В первую очередь уходят потребители, которые, не получая продукта требуемого качества, переплачивают за тепловую энергию по завышенным тарифам. Это имеет двойной негативный эффект: вследствие снижения объемов производ-

ства повышаются удельные затраты, кроме того, прекращается безвозмездное субсидирование. При этом рост тарифов для оставшихся абонентов может оказаться неподъемным, что чревато крахом системы в целом.

Повышение тарифов на тепловую энергию может ухудшить финансовое состояние теплоснабжающих организаций, а в ряде случаев привести к их полному или частичному развалу. В этой ситуации необходимо сочетать экономические меры привлечения и удержания потребителей с административными.

Потери тепловой энергии на этапе транспортировки порой достигают половины объема произведенной энергии. Но самое тревожное – отказ от покупки тепловой энергии, производимой на теплоэлектростанциях, где она является побочным продуктом производства электроэнергии.

К важнейшим факторам относится тарифное стимулирование потребления тепловой энергии, вырабатываемой ТЭЦ.

В последние годы темпы роста экономики С.-Петербурга в значительной мере опережали общероссийские. Рост промышленного производства в С.-Петербурге в 2002 г. в 2,3 раза превышал тот же показатель по России в целом. По существующим прогнозам правительства РФ и независимых аналитиков, эта тенденция будет сохраняться [1, 3, 6–10, 24].

Планы перспективного развития С.-Петербурга предполагают рост тепловых нагрузок в северо-западной части города в связи с увеличением объемов жилищного строительства. По данным комитета по градостроительству и архитектуре, в период 2003–2010 гг. в Приморском районе будет построено 2,2 млн м² нового жилья и других объектов. Расчеты показывают, что, несмотря на ввод в 2004 г. котла КВГМ-180 на Приморской котельной, дефицит мощностей в Приморском районе уже к 2010 г. превысит 500 Гкал/ч.

При возрастающем росте теплопотребления в северо-западной части (Приморский район) С.-Петербурга оптимальным вариантом является максимальное использование существующей Северо-Западной ТЭЦ (далее С-3 ТЭЦ) в покрытии тепловых нагрузок. Общая протяженность трассы от коллекторов ТЭЦ до коллекторов котельной составляет около 11,5 км (рис. 1).

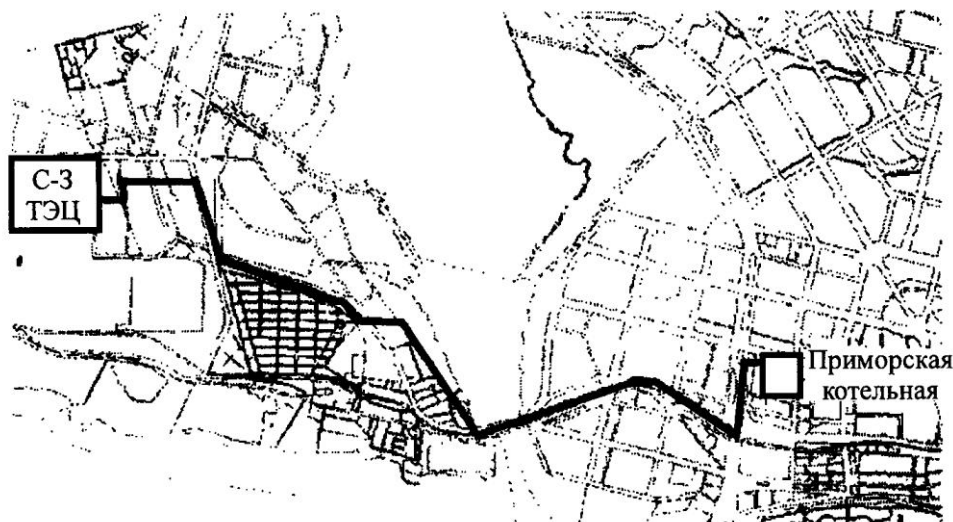


Рис. 1. Схема размещения С-3 ТЭЦ в Приморском районе С.-Петербурга

Объект рассмотрения данной статьи – мероприятия по повышению эффективности энергоснабжения Приморского района как наиболее проблематичного с точки зрения обеспеченности тепловой энергией.

Реализацию проектной схемы подпитки теплосети, когда теплоснабжение от С-3 ТЭЦ планировали производить по открытому варианту, потребовало бы строительства двух водоводов от городских магистральных трубопроводов. Кроме того, большой объем передаваемой от С-3 ТЭЦ прямой сетевой воды (до 25 тыс. м³/ч) в существующую распределительную сеть Приморского района вызовет определенные трудности при поддержании гидравлического режима в узловых точках этой сети. В связи с этим решено для С-3 ТЭЦ реализовать предложенную Академическим центром теплоэнергоэффективных технологий закрытую схему теплоснабжения. В этом случае основная подпитка теплосети должна быть организована на существующих котельных, там же должны быть установлены мощные теплообменные центры, обеспечивающие съем тепловой энергии от нагретой на С-3 ТЭЦ сетевой воды.

Таким образом, имеем новую, не встречавшуюся ранее систему теплоснабжения: С-3 ТЭЦ–магистраль–Приморская котельная–абоненты–Приморская котельная–магистраль–С-3 ТЭЦ, где работа подсистемы С-3 ТЭЦ–магистраль–Приморская котельная–магистраль–С-3 ТЭЦ осуществляется по закрытой схеме, а работа подсистемы абоненты–Приморская котельная–абоненты – по открытой.

Для решения проблем функционирования теплоснабжения такой системы необходим комплексный подход, который учитывал бы не только режимы работы энергоснабжающих станций, но и сложившуюся систему взаимоотношений между энергогенерирующими организациями, функционирующую систему теплоснабжения, а также тарифную политику, которую необходимо выработать на основе всестороннего анализа существующих методик отчетности для удаленных источников теплоснабжения с учетом особенностей.

Для расчета и анализа системы теплоснабжения С-3 ТЭЦ–магистраль–Приморская котельная–магистраль–С-3 ТЭЦ, схематично представленной на рис. 2, из-за наличия большого количества теплотехнического оборудования и меняющихся в течение года режимов разработана математическая модель, включающая подробное описание процессов генерации и транспорта энергоносителей с учетом потерь в системах энергоснабжения.

Эта математическая модель включает подробное описание процессов генерации и транспорта энергоносителей с учетом потерь в системах энергоснабжения. В основе этой модели лежит комплекс балансовых уравнений, который позволяет за счет анализа исследуемого объекта и математических моделей отдельных его элементов (паротурбинная часть С-3 ТЭЦ – источник тепловой и электрической энергии, Приморская котельная,

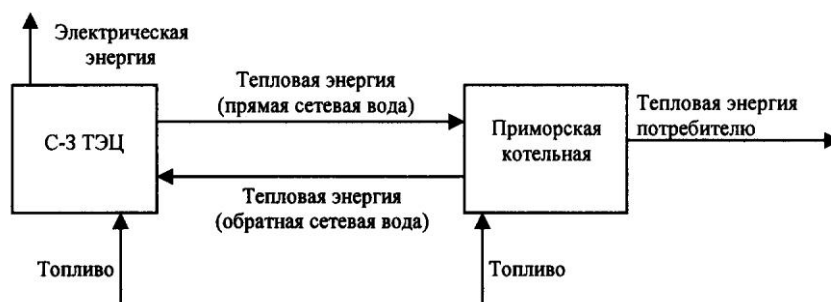


Рис. 2. Схема магистрали С-3 ТЭЦ–Приморская котельная

магистральной, потребители тепловой энергии) строить программу расчета данной системы теплоснабжения на объектно-ориентированном языке.

Разработанная модель включает три взаимосвязанных модуля:

паротурбинная часть С-3 ТЭЦ;

тепловая сеть;

Приморская котельная.

В основу модели заложены зависимости, позволяющие рассчитать гидравлические и тепловые потери при транспортировке теплоносителя к потребителю, а также мощность насоса, затрачиваемую на его перекачку. Методом перебора различных вариантов температурных графиков можно определить: минимальные затраты на прокладку тепловой сети от С-3 ТЭЦ до Приморской котельной; оптимальный диаметр трубопровода с учетом гидравлических потерь в магистральной; потери тепловой энергии в окружающую среду.

В процессе разработки были оценены факторы, влияющие на экономическую эффективность работы системы теплоснабжения в целом: тепловые и гидравлические потери в тепловой сети; возможная недовыработка электрической мощности на ТЭЦ; удельный перерасход топлива на котельной.

Результаты расчета показали, что при одинаковой, близкой к максимальной тепловой нагрузке на ТЭЦ недовыработка электрической энергии будет постоянной и близкой к мощности паровой турбины. При постоянной тепловой нагрузке и постоянной разности температур обратной и прямой сетевой воды гидравлические потери сети одинаковы и равны определенной величине, что обусловлено одинаковым количеством энергии, переносимым единицей массы теплоносителя. Однако нельзя не отметить, что работа насоса при повышенных температурах теплоносителя предъявляет более жесткие требования к составу оборудования, что, в свою очередь, требует более высоких капитальных и эксплуатационных затрат.

На выбор оптимального температурного графика влияют две величины: тепловые потери в магистральной теплотрассе и в меньшей степени гидравлические потери в котельной. Тенденция к снижению потерь при уменьшении температуры подающего трубопровода и неизменной разности температур прямой и обратной воды обусловлена более сильным падением тепловых потерь в магистральной при слабом росте гидравлических потерь в котельной. Минимум потерь будет наблюдаться при более низких значениях температур прямой и обратной воды, но они противоречат существующей нормативной документации. Понижение температуры подачи ниже 90 °С невозможно по соображениям эффективности теплоотдачи от отопительных радиаторов (классическая схема) внутри помещений, а ниже 65 °С – по санитарным нормам для горячей воды (при применении систем отопления «теплый пол»).

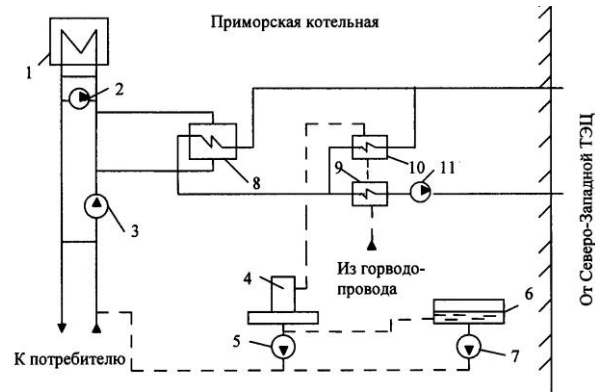
Следовательно, необходима работа С-3 ТЭЦ в базовом режиме при подогреве прямой сетевой воды на Приморской котельной.

Принципиальная схема Приморской котельной приведена на рис. 3.

Изменения, способствующие уменьшению температуры обратной сетевой воды: вода из городского водопровода идет не последовательно, а параллельно в подогреватели 1-й и 2-й ступеней, откуда два потока с разными температурными потенциалами направляются в деаэрактор, а часть сетевой воды – в обход подогревателя 1-й ступени (рис. 4). При этом нагрузка на подогреватель 1-й ступени уменьшается, что снижает температурный потенциал обратной воды.

Для выбора оптимального режима теплоснабжения проведен сравнительный анализ различных температурных графиков выдачи тепловой энергии от С-3 ТЭЦ на Приморскую котельную. Имея сведения о параметрах прямой сетевой воды

Рис. 3. Принципиальная схема теплообменной подстанции с пиковыми котлами: 1 – котел водогрейный; 2 – насос рециркуляционный; 3 – насос сетевой; 4 – деаэратор подпиточный; 5 – насос подпиточный; 6 – аккумуляторный бак; 7 – насос регулировочный; 8 – водоводяной теплообменник; 9 – подогреватель подпитки теплосети 1-й ступени; 10 – подогреватель подпитки теплосети 2-й ступени; 11 – насос сетевой (1 – 7 – существующее оборудование, 8 – 11 – вновь устанавливаемое)



от станции и рассчитав теплообменную станцию Приморской котельной, рекомендовано выдавать тепло от ТЭЦ на теплообменную станцию в базовом режиме для температуры $130,0 \dots 65,5^\circ\text{C}$ при диаметре трубопровода 1400 мм.

Строительство тепловой магистрали позволит оптимизировать систему теплоснабжения Приморского района, снизить потребление топлива и ликвидировать дефицит тепла при одновременном улучшении экологической ситуации, прежде всего, за счет снижения и исключения ряда вредных выбросов в атмосферу.

В связи с тем, что тарифное стимулирование потребления тепловой энергии, вырабатываемой ТЭЦ, является важнейшим фактором нормального функционирования системы теплоснабжения городов [2, 4, 5, 12, 13, 16–20, 22–26], выполнено следующее.

1) Проанализированы существующие методики отчетности для ТЭЦ (зарубежные методы разнесения затрат, физический метод, эксергетический метод, метод ОРГРЭС, метод относительных приростов, метод золотого сечения).

Представив графически результаты расчета по рассмотренным методикам и расположив их значения на так называемой функции полезности (рис. 5), можно сделать выводы, что все рассмотренные методы разделения топлива между производством электроэнергии и тепла являются одинаково условными и должны применяться с крайней осторожностью даже при оценке тепловой

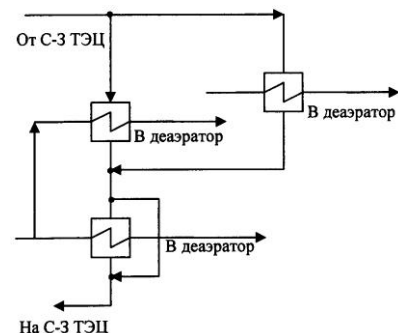
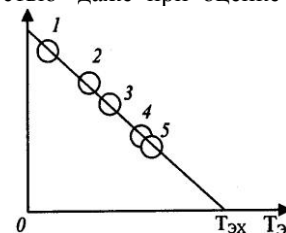


Рис. 4. Измененная схема тепловой станции

Рис. 5. Взаимозависимость параметров энергетической функции полезности: 1 – физический метод; 2 – метод ОРГРЭС; 3 – метод относительных приростов; 4 – метод золотого сечения; 5 – эксергетический метод



экономичности ТЭЦ; методы дают разные результаты, и поэтому ни один из них не может служить основой для формирования тарифов на ТЭЦ; зарубежный опыт и проведенный анализ убеждают в необходимости использования при формировании тарифов на электроэнергию и тепло, выработанных на ТЭЦ, исключительно экономических механизмов, отказавшись от попытки увязать ценообразование с проблемой разделения расхода топлива на выработку электро- и теплоэнергии.

2) Раскрыта проблематика определения тарифов по применяемой в настоящее время методике. При использовании существующей методики распределения расхода топлива по РД 34.08.552–95 на промышленных ТЭЦ могут быть получены заведомо неприемлемые результаты. Указанная методика искусственно занижает расход топлива на отпуск тепловой энергии и необоснованно завышается его расход на отпуск электрической.

3) При рассмотрении данной методики применительно для расчета тарифов С-3 ТЭЦ наглядно показано, что с учетом транспортировки тепловой энергии по тепловой магистрали длиной 11,6 км на тепловую энергию получен достаточно большой тариф (минимальный при работе С-3 ТЭЦ в режиме полной теплофикации для одного энергоблока – 285 р./Гкал (рис. 6), для двух – 197 р./Гкал), что может привести к резкому снижению объемов покупки тепловой энергии от С-3 ТЭЦ или даже к отказу от покупки тепловой энергии городом. Величина тарифа за тепловую энергию составляет 200 р./Гкал (данные 2003 г.).

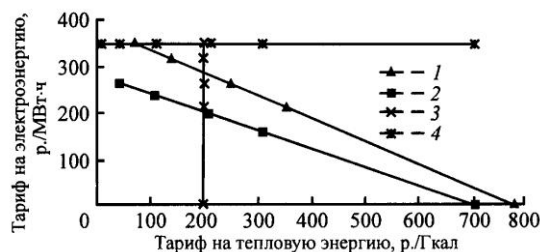
4) Представлен новый подход к формированию тарифа по методу, предложенному В.А. Малафеевым [24], который позволит не только найти взаимосвязанные значения тарифов на ТЭЦ, но и гибко реагировать на состояние розничных рынков электрической и тепловой энергии и, прежде всего, на возможность появления конкурентов.

Затраты на производство электро- и тепловой энергии в комбинированном цикле можно распределить между двумя видами продукции любым способом, но поскольку сумма всех затрат от этого не меняется, то результаты от всех возможных вариантов разделения ложатся на одну прямую – так называемый треугольник Гинтера (рис. 7).



Рис. 6. Тарифы на тепло- и электроэнергию при работе одного блока: 1 – электроэнергия, 2 – тепловая энергия

Рис. 7. Тарифы на тепло- и электроэнергию С-3 ТЭЦ (2003 г.): 1 – электроэнергия, 2 – тепловая энергия, 3 – себестоимость тепла на коллекторах Приморской котельной, 4 – утвержденный тариф на электроэнергию



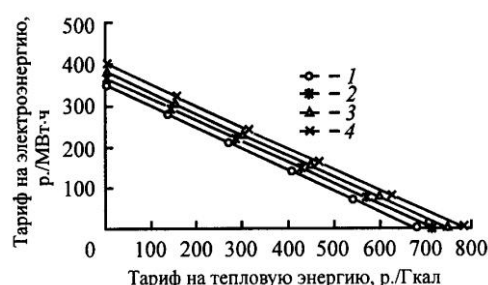


Рис. 8. Тарифы на тепло- и электроэнергию при различных значениях закладываемой прибыли (работа одного энергоблока): 1 – вариант 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4

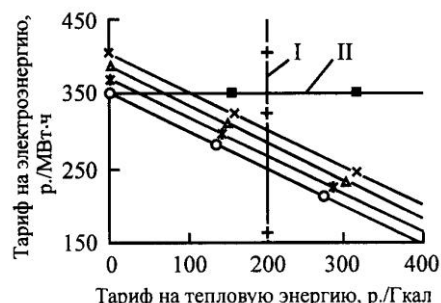


Рис. 9. Треугольник Гинтера для определения оптимальных тарифов на тепло- и электроэнергию С-3 ТЭЦ при различных значениях закладываемой прибыли (работа одного энергоблока): I – себестоимость тепла на коллекторах Приморской котельной; II – утвержденный тариф на электроэнергию (обозначения см. на рис. 8)

В случае, если все затраты ТЭЦ отнести только на электроэнергию, то получится точка пересечения прямой с осью ординат (удельные затраты на электроэнергию максимальны, удельные затраты на производство тепла равны нулю). Если все затраты ТЭЦ отнести на тепло, то получится точка пересечения прямой с осью абсцисс (удельные затраты на тепло максимальны, а удельные затраты на электроэнергию равны нулю). Все возможные варианты разделения затрат между производством электроэнергии и тепла лежат на прямой, соединяющей две эти точки, и образуют взаимозависимые пары. Таким образом, всю сумму затрат ТЭЦ в расчетном периоде, количество товарной продукции, а также сумму прибыли, которую необходимо внести в тариф, может определить треугольник Гинтера для тарифных пар. Эта зависимость и называется тарифной сеткой.

5) Для полноты расчета определено тарифное поле для работы одного и двух энергоблоков при различной величине прибыли – варианты 1–4 (0, 5, 10 и 15 %), что дает возможность наглядно оценить различные варианты расчета пар тарифов на тепловую и электрическую энергию в тарифной сетке того или иного предприятия при соответствующих затратах.

Тарифы на тепловую и электрическую энергию для различных величин закладываемой прибыли (варианты 1–4) при работе одного энергоблока приведены на рис. 8 и 9.

Составляя такое тарифное зеркало для любой тепловой электроцентрали, определяют возможные пары тарифов на тепло- и электроэнергию.

На основании исследований был создан алгоритм расчета тарифов на тепло- и электроэнергию не только для С-3 ТЭЦ, но и для других теплоэлектроцентралей, имеющих тепловую магистраль большой протяженности. Алгоритм позволяет обеспечить конкурентоспособные тарифы; сбыт продукции; необходимые финансовые показатели работы ТЭЦ; снижение тарифов на тепловую энергию для населения города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическая справка о теплоснабжении в г. Санкт-Петербурге и Приморском районе [Текст]. – 2002.

2. Аракелян, Э.К. О распределении расхода топлива на ТЭЦ [Текст] / Э.К. Аракелян, Г.П. Киселев // Оптимизация тепловых схем и режимов работы ТЭС: тр. МЭИ. – 1994. – Вып. 671.
3. Васильев, Ю.С. Развитие промышленности и предпосылки самодостаточного развития электроэнергетики России [Текст] / Ю.С. Васильев [и др.] // Наука и промышленность России. – 2001. – № 4–5.
4. Вопросы формирования тарифов на электрическую и тепловую энергию, производимую на ТЭЦ [Текст]: решение научно-практической конференции специалистов ФЭК России, РАО «ЕЭС России», АО-энерго, МАРЭК и РЭК субъектов РФ. – Жаворонки Моск. обл., 28–30 марта 2000 г.
5. Гольдштейн, А.Д. Промышленная энергетика, проблемы и основные направления энергосбережения [Текст] / А.Д. Гольдштейн, П.А. Кругляков, Ю.В.Смолкин // Теплоэнергетика. – 2003. – № 2.
6. Грицына, В.П. Развитие малой энергетики – естественный путь выхода из наступившего кризиса энергетики [Текст] / В.П. Грицына // Пром. энергетика. – 2001. – № 8. – С. 13–16.
7. Данилевич, Я.Б. Реконструкция системы теплоснабжения Приморского района С.-Петербурга [Текст] / Я.Б. Данилевич [и др.] // Энергонадзор-информ. – 2001. – № 10. – С. 10–15.
8. Делюкин, А.С. Анализ энергопотребления С.-Петербурга [Текст] / А.С. Делюкин, В.А. Яковлев, Е.Г. Семин // Материалы междунар. конф. «Энергосбережение и эксплуатация инженерных систем». – СПб.: Изд-во СПбСТУ, 2000. – С. 74–78.
9. Делюкин, А.С. Приоритеты и перспективы развития энергетики С.-Петербурга [Текст] / А.С. Делюкин // Энергонадзор-информ. – 2000. – № 3.
10. Делюкин, А.С. Топливо-энергетический комплекс города [Текст]: учеб. пособие / А.С. Делюкин [и др.]. – СПбГТУ, 1999. – 59 с.
11. Денисов, В.И. Обоснование тарифов на электрическую и тепловую энергию ТЭЦ, выводимых на федеральный (общероссийский) оптовый рынок электрической энергии (мощности) [Текст] / В.И. Денисов // Электрические станции. – 1999. – № 10.
12. Дьяков, А.Ф. Перспективные направления применения газотурбинных и парогазовых установок в энергетике России [Текст] / А.Ф. Дьяков, Л.С. Попырин, О.Н. Фаворский // Теплоэнергетика. – 1997. – № 2.
13. Иванов, В.А. Характеристики теплофикационного парогазового блока ПГУ-450Т при различных методах разделения затрат топлива на производство электрической и тепловой энергии [Текст] / В.А. Иванов // Энергетические машины и установки: тр. ЛПИ. – СПб., 1997. – № 465.
14. Концепция Генерального плана развития С.-Петербурга. Принципиальные направления развития системы инженерного оборудования города (Теплоснабжение). 3-й этап: Концепция развития теплоснабжения / ОАО «Севзапэнерго», РАО энергетики и электрификации «ЕЭС России». – СПб., 2003. – №566, тт-иТ.000.003. – 86 с.
15. Концепция Генерального плана развития С.-Петербурга. Развитие систем инженерного обеспечения города (Теплоснабжение) / Администрация С.-Петербурга, комитет по градостроительству и архитектуре. – СПб., 2003. – 90 с.
16. Легошин, Г.М. Материя. Космология. Золотое сечение [Текст]: монография / Г.М. Легошин. – Саратов: СГАУ, 2000.
17. Малафеев, В.А. Как «правильно» определить стоимость электрической и тепловой энергии, вырабатываемой на ТЭЦ [Текст] / В.А. Малафеев // Энергетик. – 2000. – № 9.
18. Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования [Текст]. – М.: ОРГРЭС, 1995 (РД 34.08.552-95).
19. Некрасов, А.С. Состояние и перспективы развития теплоснабжения в России [Текст] / А.С. Некрасов, С.А. Воронина // Электрические станции. – 2004. – № 5.
20. Основы экономики в вопросах и ответах [Текст] / Под ред. О.Ю. Мамедова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1999.

21. Ревелль, П. Среда нашего обитания. Кн.3: Энергетические проблемы человечества [Текст] / П. Ревелль, Ч. Ревелль. – М: Мир, 1995.
22. Стерман, Л.С. Сопоставление эффективности комбинированного и раздельного способов производства электроэнергии и тепла [Текст] / Л.С. Стерман, С.П. Тишин, А.А. Хараим // Теплоэнергетика. – 1996. – № 2. – С. 34–38.
23. Хлебанин, Ю.М. Метод золотого сечения оценки тарифов на тепловую и электрическую энергию действующих ТЭЦ [Текст] / Ю.М. Хлебанин // Промышленная энергетика. – 2001. – № 9.
24. Хрилев, Л.С. Сравнительная оценка отечественных и зарубежных методов разделения расхода топлива и формирования тарифов на ТЭЦ [Текст] / Л.С. Хрилев, В.А. Малафеев, А.А. Хараим, И.М. Лившиц // Теплоэнергетика. – 2003. – № 4.
25. Шевелев, И.Ш. Золотое сечение. Три взгляда на природу гармонии [Текст] / И.Ш. Шевелев, М.А. Марутаев, И.П. Шмелев. – М.: Стройиздат, 1990.
26. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» [Текст]. – 2003. – № 4, апрель. Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_4/art87.htm.

С.- Петербургский государственный
политехнический университет

Поступила 31.10.06

V.M. Borovkov, E.M. Mikhailova

Efficiency Increase of Heat Supply System

The system of providing heat power from heat-power station and peak boiler-house is offered. The tariffs for heat and electrical power of North-Western Heat-power Station, St.-Petersburg, are substantiated.

УДК 674.053

И.М. Стрелков

Стрелков Илья Михайлович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры прикладной механики и основ конструирования АГТУ, директор Архангельского представительства ОАО «Четра-Промышленные машины». Имеет 3 печатные работы в области совершенствования дереворежущего инструмента.



ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КРУГЛЫХ ПИЛ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Показано, что лазерная термическая обработка является одним из перспективных методов повышения износостойкости круглых пил, позволяющих получить однородный по структуре и свойствам поверхностный упрочненный слой высокой твердости и увеличенной теплостойкости.

Ключевые слова: лазерная термическая обработка, повышение износостойкости, круглые пилы, режимы лазерной термической обработки.

Лазерная термическая обработка, заключающаяся в воздействии луча оптического квантового генератора (лазера) на режущие кромки инструмента с образованием упрочненного поверхностного слоя, является одним из перспективных методов повышения износостойкости круглых пил.

Термическое упрочнение инструментальных материалов с помощью лазера основано на локальном скоростном нагреве участка поверхности лазерным излучением и последующем охлаждении этого участка со сверхкритической скоростью вследствие отвода теплоты во внутренние слои материала. В результате может быть получен поверхностный слой, обладающий высокой твердостью, улучшенными параметрами шероховатости и повышенным уровнем остаточных напряжений сжатия при отсутствии деформаций, трещин и отслаиваний, что значительно увеличивает износостойкость круглых пил [1, 2].

Широкое применение лазерного упрочнения дереворежущего инструмента сдерживается недостаточностью сведений о многофакторной связи режимов лазерной обработки инструментальных сталей с комплексом получаемых в процессе ее выполнения механических и геометрических характеристик поверхностных слоев режущих элементов, определяющих износостойкость круглых пил.

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния режимов лазерной термической обработки на механические и геометрические характеристики поверхностных слоев режущих элементов круглых пил из стали 9ХФ. В деревообрабатывающей промышленности широко применяют данный вид пил, поэтому исследования по повышению их износостойкости являются актуальными. Работу проводили на установке лазерной сварки, резки и термообработки «Квант-15», имеющей твердотельный импульсный лазер на алюмоиттриевом гранате.

Эффективность упрочнения круглых пил методом лазерной термической обработки характеризуется шириной, глубиной и твердостью формируемого закаленного слоя прикромочных зон. На эти показатели наибольшее влияние оказывают следующие параметры: диаметр зоны лазерного воздействия D (соответствует диа-

метру испускаемого излучения), напряжение заряда конденсаторов накачки U , коэффициент перекрытия K_n (представляет из себя отношение шага S к диаметру D луча, $K_n = S/D$).

По итогам проведенных исследований для получения достаточного по глубине и структурно равномерного по ширине упрочненного слоя можно рекомендовать следующий режим: $D = 1,25$ мм; $U = 480$ В (что соответствует лазерному воздействию с оплавлением поверхности); $K_n = 0,5$.

При таком режиме глубина закаленного слоя колеблется в пределах 150 ... 170 мкм. Структура зон лазерного воздействия – мартенсит закалки с микротвердостью $H_\mu = 947$ кг/мм². Высокое значение этого показателя отражает особенности полученного при высоких скоростях нагрева и охлаждения так называемого свежезакаленного мартенсита повышенной твердости. Кристаллическая решетка перенасыщена дефектами, в результате чего остаточный аустенит имеет повышенную твердость и более высокое содержание углерода в упрочненных зонах. Переходная зона по глубине (порядка 15 мкм) характеризуется резким снижением микротвердости от $H_\mu = 947$ кг/мм² (мартенсит закалки) до $H_\mu = 454$ кг/мм² (соответствует твердости троостита – структура тела пилы до термообработки).

Переходные участки между зонами воздействия соседних лазерных импульсов имеют протяженность, не превышающую 80 мкм. Причем изменение микротвердости показывает, что мартенсит закалки ($H_\mu = 947$ кг/мм²) претерпел некоторый отпуск – образовался мартенсит отпуска с твердостью $H_\mu = 737$ кг/мм².

Получаемая глубина закаленного слоя (150 ... 170 мкм) достаточна для одной–двух переточек изношенного зуба (при щадящих режимах заточки). Также следует отметить, что изменение свойств закаленного слоя по ширине на поверхности относительно невелико, поскольку переходные зоны, выходящие на поверхность, имеют незначительное падение твердости и малопротяженны. При переточках в допустимых пределах их ширина будет меняться незначительно.

Поскольку достаточно затруднительно теоретически спрогнозировать устойчивость структуры стали 9ХФ после лазерной термической обработки к разупрочнению при повторном нагреве (такого рода нагрев зуба пилы является эксплуатационным), было признано целесообразным оценить теплостойкость структуры стали, подвергнутой лазерной термической обработке, т. е. интенсивность падения твердости при повторном нагреве в интервале температур эксплуатации 200...400 °С и сравнить ее с теплостойкостью структуры, полученной в результате традиционной термообработки – печной закалки в масле и последующего среднего отпуска (температура нагрева 400 °С, продолжительность выдержки 2 ч.). Исследования показали, что лазерно-упрочненная сталь при температуре нагрева до 300 °С имеет низкую интенсивность снижения твердости (твердость снижается с 947 НВ до 701 НВ) и только после 400 °С твердость лазерно-упрочненных участков приближается к твердости тела пилы (≈ 454 НВ), которое упрочнено по традиционной схеме «закалка – средний отпуск». Таким образом, реальная теплостойкость пил из стали 9ХФ с использованием лазерной термической обработки в 1,5–2,0 раза выше.

Выводы

1. Выполненные исследования подтверждают высокую эффективность лазерной термической обработки. Получаемый упрочненный слой высокой твердости имеет однородную структуру и свойства, четкие границы по глубине и переходные зоны незначительной протяженности.

2. Получаемая глубина закаленного слоя достаточна для одной–двух переточек изношенного зуба.

3. Теплостойкость круглых пил из стали 9ХФ после лазерной термической обработки в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с пилами, прошедшими стандартную обработку.

4. Разработанные режимы лазерной термической обработки могут быть рекомендованы для упрочнения круглых пил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов [Текст] / А.Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

2. Зотов, Г.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента [Текст] / Г.А. Зотов, Е.А. Памфилов. – М.: Экология, 1991. – 304 с.

Архангельский государственный
технический университет
Поступила 18.06.06

I.M. Strelkov

Increase of Circular Saws Wear Resistance by Method of Laser Heat Treatment

Laser heat treatment is shown to be one of the perspective methods of increasing wear resistance of circular saws allowing to obtain surface hardened layer homogeneous in structure and properties and characterized by high hardness and increased heat resistance.



УДК 630*841.1

Р.Н. Галиахметов, А.Ю. Варфоломеев

Галиахметов Раил Нигаматьянович окончил в 1979 г. Башкирский государственный университет, директор Башкирского научно-исследовательского и проектного института стройматериалов. Имеет около 70 научных трудов в области снижения экологической опасности производств химических биологически активных препаратов.



Варфоломеев Андрей Юрьевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, инженер НИС АГТУ. Имеет 2 научных труда по вопросам исследований эксплуатационных характеристик строительных конструкций в климатических условиях Севера.



ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НОВОГО АНТИСЕПТИКА НА ЕЛОВЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛАХ

В ходе производственных испытаний опытно-промышленной партии нового жидкого антисептика КЭД с улучшенными экологическими характеристиками установлено, что даже при низкой концентрации этот препарат обладает высокой защищающей способностью по отношению к плесневым и древоокрашивающим грибам.

Ключевые слова: биологическое поражение древесины, антисептики, опытно-промышленная партия, производственные испытания.

При реализации приоритетного национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» большую перспективу на Севере имеют деревянные малоэтажные дома. Основной причиной ограниченного применения древесины в качестве ведущего строительного материала в жилищном строительстве является снижение ее долговечности биологическими вредителями, к которым относятся грибы и насекомые. Поэтому необходимо совершенствовать антисептические препараты для древесины в целях повышения эффективности воздействия на биологических вредителей и снижения экологической опасности антисептиков.

В нашей стране широкое применение получил водорастворимый антисептик Катан на основе соединений четвертичного аммония со специальными добавками, улучшающими его технологические и эксплуатационные свойства. В настоящее время в лаборатории защиты древесины ЦНИИМОД завершаются многолетние комплексные испытания нового отечественного препарата КЭД, концентрация которого может быть значительно снижена по сравнению известным антисептиком Катан в виде 5 ... 7 %-х водных рабочих растворов.

Результаты биопоражения еловых пиломатериалов,

обработанных антисептиком КЭД

Код партии	Концентрация рабочей водной эмульсии КЭД, %	Статистические показатели		
		Среднее арифметическое значение, %	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
0	0 (контроль)	51,07	350	7,45
1	0,004545	3,13	1,96	62,87
2	0,015000	1,19	0,50	42,15
3	0,174419	0,65	0,24	37,34

В 2006 г. была наработана опытно-промышленная партия препарата КЭД в виде концентрата, представляющего собой жидкость коричневого цвета на основе нефтяных сольвентов.

Основная токсикологическая характеристика LD₅₀ для крыс составляет около 3900 мг/кг. Хорошо растворим в органических растворителях, при смешивании с водой частично растворяется и образует устойчивую эмульсию. После обработки им древесина не изменяет свой природный цвет с выраженной текстурой. Препарат не обладает резким запахом и в используемых концентрациях не представляет опасности для человека и окружающей среды. Концентрированный препарат пожароопасен, но при смешивании с водой в рабочих концентрациях – безопасен. Концентрат не замерзает при отрицательной температуре в регионах с умеренным климатом. При антисептической обработке изделий из древесины его используют в виде рабочей эмульсии на водной основе в рекомендованных концентрациях. Водные рабочие эмульсии препарата могут замерзать при отрицательных температурах. КЭД расфасовывают в герметично закрываемые пластиковые канистры и контейнеры вместимостью 5, 10, 20, 50, 100, 200, 800, 1000 л.

Эффективность нового антисептика КЭД испытывали в течение месяца в производственных условиях на еловых пиломатериалах влажностью 52 ... 78 %, сечением 22 × 125 мм и длиной 4,5 ... 5,4 м, изготовленных на Соломбальском лесопильно-деревообрабатывающем комбинате. Антисептирование осуществляли поштучно в ванне методом окунания. В ходе эксперимента осуществляли контрольные переборки пиломатериалов и замеряли площадь поражения их поверхности плесневыми и деревоокрашивающими грибами, выражая ее в процентах от общей поверхности. Результаты производственных испытаний приведены в таблице.

Полученные результаты свидетельствуют, что препарат КЭД даже в низких концентрациях обладает высокой защищающей способностью по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам, которые распространены на Севере европейской части России.

Выводы

1. Применение нового антисептика позволяет значительно снизить расход по сравнению с существующими серийно выпускаемыми средствами защиты древесины. Низкие затраты на доставку делают его особенно перспективным для использования на лесопильно-деревообрабатывающих производствах, расположенных в отдаленных районах.

2. Использование КЭД в более низких концентрациях по сравнению с аналогичными препаратами значительно уменьшает количество поступающих в при-

роду искусственных биологически активных веществ, что имеет большое значение для экологии.

Башкирский научно-исследовательский
и проектный институт строительных
материалов

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 18.09.06

R.N. Galiakhmetov, A.Yu. Varfolomeev

Manufacturing Testing of New Antiseptic on Spruce Sawn Timber

In the course of manufacturing testing of pilot-industrial lot of new liquid antiseptic KED with enhanced ecological characteristics it is established that this preparation is characterized by high protecting capability with reference to mold and wood-coloring fungi even at the low concentration.



УДК 621.181

В.К. Любов

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 150 публикаций в области совершенствования энергохозяйств промышленных предприятий.



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Рассмотрены способы повышения эффективности работы котельных установок, сжигающих древесные отходы; предложены пути увеличения их экономических и экологических показателей.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, древесные отходы, топочная камера, котлоагрегат, эмиссия оксидов азота и оксида углерода, коэффициент полезного действия, золоуловитель, потери теплоты, воздухоподогреватель, газоочистная установка.

Объекты малой энергетики Архангельской области в основном оборудованы котлами со слоевыми топками для сжигания каменных углей Печорского бассейна, а также топками скоростного горения и с наклонными колосниковыми решетками для сжигания древесных отходов [1–5, 7–9]. Кроме этого, в котельных широко используют котлы малой мощности, работающие на мазуте [7].

Топки с наклонной колосниковой решеткой установлены на многих предприятиях области. Они позволяют сжигать топливную смесь, состоящую из опилок, щепы и стружки. Однако возможности данных топок ограничены необходимостью поддерживать скорость первичного воздуха ниже критической для обеспечения устойчивости плотного слоя. Кроме того, они очень чувствительны к изменению качества отходов и их сыпучести [1, 2, 5].

При испытании котлоагрегатов ДКВр-10-13 ст. № 2, 4 ОАО «Лесозавод № 3», оборудованных шахтными предтопками с наклонными колосниковыми решетками и рекуперативными воздухоподогревателями, было отмечено, что они не обеспечивают высокую эффективность использования древесных отходов. КПД brutto котлов $\eta_{бр}$ изменялся в диапазоне 58,3 ... 76,9 %, при этом потери теплоты с уходящими газами $q_2 = 18,9 \dots 22,4$ %, с химической неполнотой сгорания $q_3 = 0,14 \dots 16,55$ %, с механической неполнотой сгорания $q_4 = 0,13 \dots 0,2$ %, от наружного охлаждения $q_5 = 3,85 \dots 4,71$ %. Удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж составлял 44,4 ... 58,5 кг у.т./ГДж.

Низкий уровень потерь теплоты с механической неполнотой сгорания топлива объясняется малой зольностью ($A^r = 0,17$ %) древесных отходов, а также возвратом в топку недогоревших коксовых частиц (на котлах установлены дымососы – золоуловители [15]).

При проведении испытаний котлоагрегатов ДКВр-10-13 ст. № 1, 3, оборудованных чугунными водяными экономайзерами для обогрева сортировочных бассейнов, были выявлены в основном сходные проблемы. Однако более глубокое охлаждение продуктов сгорания за счет экономайзеров обеспечило более высокие значения КПД brutto $\eta_{к.а}^{бр} = 72,9 \dots 78,4$ % и меньший удельный расход условного

топлива 43,4...46,6 кг у.т./ГДж. При проведении испытаний котлов ДКВр-10-13 ст. № 1–4 максимальное теплонапряжение зеркала горения $q_R = 0,8$ МВт/м², а эмиссии вредных ингредиентов изменялись в следующем диапазоне: $\text{NO}_x = 29 \dots 68$ мг/МДж; $\text{CO} = 0,10 \dots 0,19$ г/МДж для котла № 2 и $\text{CO} = 0,27 \dots 14,58$ г/МДж для № 1, 3, 4.

Для повышения технико-экономических и экологических показателей работы котлов, оборудованных неподвижными колосниковыми решетками, была оптимизирована конструкция узла ввода вторичного дутья за счет применения дискретно расположенных сопл прямоугольной формы. Кроме того, были разработаны технические решения, обеспечивающие более оптимальное распределение топлива по длине решетки и организацию «активной» аэродинамики в надслоевой области предтопок. Реализация разработанных мероприятий позволит обеспечить низкоэмиссионное сжигание древесных отходов по трехступенчатой схеме.

При обследовании котельной ЛДК-12 с котлоагрегатами КЕ-10-14, оборудованными аналогичными предтопками, был выявлен круг проблем, близких к ранее изложенным, поэтому разработанные технические решения предложено использовать и при реконструкции данных котлов.

Топки скоростного горения системы В.В. Померанцева с зажатым слоем позволяют значительно повысить теплонапряжение зеркала горения за счет увеличения скорости воздуха, пронизывающего слой топлива. Они широко используются для котлов ДКВр и КЕ на предприятиях лесопромышленного комплекса (ЛПК) [1– 3, 5]. В котельных ОАО ЛДК-3 и ЗАО «Лесозавод 25» установлено по три утилизационно-энергетических котлоагрегата КЕ-10-14МТ и по два мазутных ДЕ-25-14. В 1997 г. на ЛДК-3 была также пущена в эксплуатацию финская водогрейная котельная с двумя утилизационно-энергетическими котлами мощностью по 6 МВт.

Топливом для утилизационно-энергетических котлов служат древесные отходы лесопильного производства. Однако в последнее время стали сжигать и древесные отходы с отвалов. Анализ проб древесных отходов с ОАО ЛДК-3, СЛДК, СЦБК и других предприятий лесопромышленного комплекса (ЛПК) показал, что повышенное содержание внешней влаги приводит к значительному снижению низшей теплоты сгорания на рабочую массу (до $Q_i^r = 3075$ кДж/кг). Для повышения энергоэкологоэкономических показателей котлов необходимо снижать содержание внешней влаги в отходах, что можно обеспечить за счет естественной подсушки на промежуточных складах, а также в цикле предварительной подготовки отходов к сжиганию. Необходимо отметить, что сроки хранения древесных отходов должны быть ограничены для исключения процесса гниения. Кроме того, при длительном хранении происходит засорение древесных отходов внешними минеральными примесями. При этом зольность на сухую массу иногда повышается до $A^d = 12$ %, что также снижает их тепловую ценность. Для получения полной картины топливных балансов предприятий ЛПК необходимо периодически определять теплотехнические характеристики всех видов образующихся древесных отходов, что позволит с большой степенью точности прогнозировать качество древесного топлива и учитывать возможную динамику его изменения при эксплуатации котлоагрегатов, а также определять оптимальные соотношения компонентов в смеси древесных отходов и схемы их энергетического использования [4, 8].

Для оценки эффективности работы утилизационно-энергетических котлоагрегатов с предтопками скоростного горения были проведены исследования в соответствии с требованиями, предъявляемыми к промышленно-эксплуатационным испытаниям второй категории сложности. Полученные результаты обрабатывали с

использованием программно-методического комплекса [6]. Состав продуктов сгорания исследовали с помощью газоанализаторов TESTO-350 и IMR-3000R. Анализ результатов испытаний котлоагрегатов показан ряд недостатков в их работе, характерных и для других котельных региона.

Общим недостатком для котлов ОАО ЛДК-3 является работа при большом разрежении в топке ($S_t = 70 \dots 160$ Па), что неблагоприятно сказывается на функционировании всего котлоагрегата. При высоком разрежении значительно возрастают присосы воздуха в газовый тракт, возникают высокоамплитудные пульсации в топке, ухудшаются условия выгорания топлива вследствие затягивания факела в конвективные поверхности нагрева, создаются пожароопасные условия в кубах рекуперативных воздухоподогревателей. На многих котлах была отмечена неудачная трассировка воздухопроводов и газоходов в аэродинамическом и компоновочном отношениях. Эксплуатационные испытания показали, что существующая схема ввода подового дутья не обеспечивает эффективного догорания топливных частиц ввиду наличия «мертвых» зон. Более рациональной схемой является организация «многовихревой» аэродинамики со встречно-смещенными струями [3, 8–10].

КПД брутто котлов № 1, 2 ОАО ЛДК-3 в зависимости от нагрузки изменялся в диапазоне 65,9 ... 80,11 %. При этом потери теплоты составляли: $q_2 = 9,43 \dots 13,88$ %, $q_3 = 0,46 \dots 20,14$ %, $q_4 = 0,74 \dots 6,24$ %, $q_5 = 1,76 \dots 10,83$ %; эмиссии вредных ингредиентов: $\text{NO}_x = 39 \dots 149$ мг/МДж, $\text{CO} = 0,65 \dots 26,10$ г/МДж. Удельный расход условного топлива – 42,6 ... 51,8 кг у.т./ГДж. Модернизация системы подового дутья увеличила максимальный КПД брутто котлов до 82,1 % и уменьшила выброс вредных веществ.

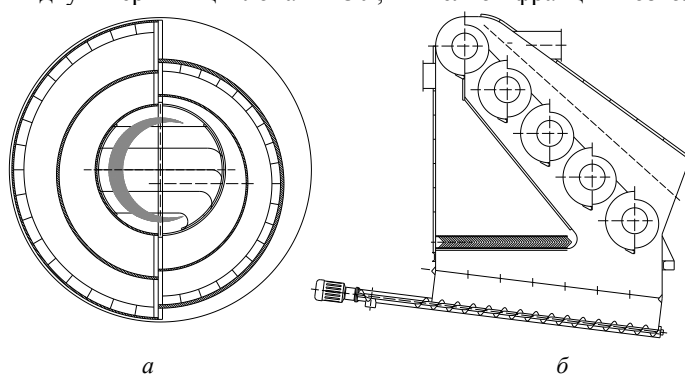
Учитывая, что максимальная температура в топках котлов не превышает 1473 К, образование термических NO_x практически не происходит, генерация NO_x идет за счет окисления азота топлива и зависит от коэффициента избытка воздуха в топке. Большие значения эмиссии CO свидетельствуют о нерациональном распределении воздуха или о его недостатке. Следует также отметить неоптимальный ввод воздуха в предтопок, который осуществляется со стороны боковых стен, более эффективным является фронтальной.

Кроме того, котлы ОАО ЛДК-3 работают без золоуловителей. Выброс золовых частиц неблагоприятно сказывается на состоянии окружающей среды в районе расположения котельной, а также наносит вред готовой продукции предприятия, складываемой на открытом воздухе.

Для повышения экологических показателей котельной и устранения ущерба от снижения качества пиломатериалов была разработана газоочистная установка (ГОУ). Однако тесная компоновка основного и вспомогательного оборудования котельной исключила возможность оснащения котлов индивидуальными ГОУ, поэтому ООО «Валер» при участии автора был разработан проект объединенной ГОУ (на три котла), расположенной за пределами котельной перед дымовой трубой. Данная ГОУ состоит из пяти коаксиальных циклонных элементов, расположенных по ходу газов, каждый из которых имеет по четыре «обратных» связи для повышения степени очистки (см. рисунок). Наличие жалюзийного сепаратора в нижней части бункера исключает явление вторичного уноса уловленных частиц. Испытания ГОУ показали, что ее КПД = 79,6 ... 86,6 % при расходе продуктов сгорания 10,6 ... 11,8 $\text{нм}^3/\text{с}$ (проектный $\geq 13,9$ $\text{нм}^3/\text{с}$), а ее сопротивление – 0,60 ... 0,72 кПа. Данная степень очистки газов получена при работе двух котлов КЕ-10-14, сжигающих древесные отходы, в которых доминировал опилкок (влажность на рабочую массу $W_t^* = 48,1$ %). Запыленность дымовых газов определяли при изокINETических усло-

виях, используя метод внутренней фильтрации газов через аллонжи с объемной набивкой из стекловолна и результаты предварительно проведенных тарировок [14]. Расход отбираемого газа регулировали с помощью аспирационного устройства типа ПУ-4Э.

Исследования показали, что материал, уловленный в ГОУ, является полифракционным и крупнодисперсным ($n = 1,67$, $b = 0,2 \cdot 10^{-4}$), при этом два первых по ходу газов циклона улавливают преимущественно крупную фракцию с диаметром частиц $d_p \geq 0,4$ мм, которой содержится около 52 %. Доля горючих в данной фракции $C^r = 85 \dots 92$ %, а летучих $C^l = 5 \dots 10$ % (от первоначального количества). Реконструкция зольного бункера с организацией раздельного сбора и вывода крупной, уловленной в двух первых циклонах ГОУ, и мелкой фракций позволит получить



Комбинированная газоочистная установка: *а* – циклонный элемент с обратными связями; *б* – продольный разрез ГОУ

углеродный сорбент с насыпной плотностью $100 \dots 170$ кг/м³ и удельной поверхностью $350 \dots 500$ м²/г. Производительность установки по углеродному сорбенту составляет 80 кг/сут при работе двух котлов на средних нагрузках (максимальная – до 260 кг/сут). Качественные показатели данного сорбента выше, чем у коксовой пористой крошки (КПК), получаемой при сжигании дробленых бурых углей по низкотемпературной вихревой технологии, но ниже, чем у КПК после парогазовой активации в реакторе, а также активированных углей марок АГ-3, АР-А. Мелкую фракцию повышенной зольности следует использовать в сельском хозяйстве. Результаты химического анализа золы, образующейся при сжигании древесных отходов, показали, что она богата элементами, необходимыми для повышения плодородия почвы.

Данное направление по переводу котлов, сжигающих древесные отходы, в энерготехнологический режим работы является достаточно перспективным, так как наряду с уменьшением выбросов твердых частиц в атмосферу позволяет получить углеродный сорбент среднего качества (низкой стоимости), который можно использовать для очистки сточных вод и уходящих газов промышленных предприятий, а также мелкофракционную золу для повышения плодородия почвы [8, 9].

Для улучшения энергоэкологоэкономических показателей теплогенерирующих установок ЗАО «Лесозавод 25» была проведена модернизация трех котлоагрегатов КЕ-10-14МТ, в ходе которой изменены конструкция предтопка и аэродинамическая структура топливно-газовых потоков с организацией многотурбулентной схемы в нижней части топки. Комплексные испытания котлов показали, что их модернизация позволила поднять КПД брутто на $6 \dots 8$ %, снизить эмиссию СО в 1,5–3 раза и увеличить паропроизводительность. Так, максимальная производитель-

ность котла ст. № 3 увеличена на 30 % по сравнению с номинальной (до $1,3 D_{\text{ном}}$) при сжигании древесных отходов непроектного состава (опилок и его смесь с корой до 25 %) даже при наличии повышенных присосов холодного воздуха в топку ($\Delta\alpha_{\text{т}} = 0,27 \dots 0,90$) и пониженной плотности кубов воздухоподогревателя ($\Delta\alpha_{\text{вп}} = 0,40 \dots 0,70$). При изменении нагрузки котла в диапазоне ($0,3 \dots 1,3$) $D_{\text{ном}}$ и давления насыщенного пара $P_{\text{н.п}}^{\text{абс}}$ от 1,0 до 1,4 МПа полный расход древесных отходов ($W_{\text{т}}^{\text{т}} = 53,3 \dots 54,4$ %; $A^{\text{т}} = 0,29 \dots 0,64$ %; $Q_{\text{т}}^{\text{т}} = 6,7 \dots 7,1$ МДж/кг) составил $2,01 \dots 5,52$ т/ч, удельный расход условного топлива – $42,4 \dots 44,15$ кг у.т./ГДж, КПД brutto $76,0 \dots 79,7$ %.

Учитывая, что данный котлоагрегат имел повышенные потери теплоты как от наружного охлаждения ($q_5 = 1,6 \dots 4,7$ %), вызванные отсутствием тепловой изоляции на многих элементах газового и воздушного трактов, так и с уходящими газами ($q_2 = 16,1 \dots 16,9$ %), восстановление тепловой изоляции, обмуровки котла и плотности воздухоподогревателя в соответствии с требованиями [12, 13] и установка улиточного золоуловителя с выносным циклоном ЦН-24 для возврата уловленных коксовых частиц ($C^{\text{т}} = 89 \dots 96$ %) в топочную камеру, а также четырех сопел третичного воздуха, выполненных с наклоном вниз и сфокусированных тангенциально к условной окружности в центре топки, позволили поднять КПД brutto до $84,5 \dots 85,0$ %, обеспечили дальнейшее снижение эмиссии СО (на $70 \dots 85$ %) и выбросов твердых частиц в окружающую среду (до 142 мг/нм³). Комплекс аналогичных мероприятий был выполнен и на котлах № 1, 2, но, в отличие от котлоагрегата ст. № 3, очищенные продукты сгорания возвращались в газовый тракт до воздухоподогревателя.

Обобщая полученные результаты, необходимо отметить, что модернизация котлов с предтопками скоростного горения позволила:

1) поднять КПД brutto на $9 \dots 11$ % при сжигании древесных отходов непроектного состава с крайне неоднородными гранулометрическими и теплотехническими характеристиками ($W_{\text{т}}^{\text{т}} \leq 60$ %); увеличить паропроизводительность котлов до $1,3 D_{\text{ном}}$ и выше, а также их кампанию по условиям расшлаковки; сжигать смесь древесных отходов и твердых бытовых отходов с пониженными эмиссиями вредных веществ;

2) снизить эмиссию оксида углерода в $2,5\text{--}3,7$ раза; обеспечить стабильный уровень эмиссии оксидов азота (≤ 80 мг/МДж) даже при повышении производительности котлов до $1,3 D_{\text{ном}}$ за счет эффекта ступенчатого сжигания топлива и дополнительного разложения NO_x на поверхности коксовых частиц, циркулирующих в вихревых потоках;

3) обеспечить степень очистки продуктов сгорания до $77 \dots 82$ % в котлоагрегатах с улиточными золоуловителями повышенной компактности при режимных параметрах приемлемых для котла (очищенные продукты сгорания следует возвращать в газоподогреватель; модернизация сепарационного элемента улитки-концентратора [11] создает возможность повышения степени очистки газов до $82,0 \dots 84,0$ % и обеспечения концентрации твердых частиц в удаляемых газах до 120 мг/нм³).

Применение ГОУ с коаксиальными циклонами позволяет достичь степени очистки продуктов сгорания до $79,6 \dots 86,6$ % и концентрацию твердых частиц в удаляемых газах менее 60 мг/нм³, а также осуществить перевод котлов, сжигающих древесные отходы, в энерготехнологический режим, обеспечивающий получение углеродного сорбента ($2,5 > d_{\text{ч}} \geq 0,4$ мм), близкого по свойствам к активированным углям промышленного производства. Его можно использовать для очистки сточных

вод и уходящих газов промышленных предприятий, а мелкую фракцию – для повышения плодородия почвы.

Результаты расчетных и экспериментальных исследований показали, что для дальнейшего повышения эффективности работы котлов серии КЕ с предтопками скоростного горения необходимо также реконструировать панель схода топлива, демонтировав чугунные накладные колосники и выполнив приварку между труб стальных проставок [10]. Разработанные технические решения необходимо использовать и при модернизации котлов ДКВр, дополнительно заменив кирпичный сход топлива «плавниковой» панелью, включенной в циркуляционный контур котлоагрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головкин, С.И. Энергетическое использование древесных отходов [Текст] / С.И. Головкин, И.Ф. Коперин, В.И. Найденков. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
2. Любов, В.К. Анализ методов энергетического использования отходов переработки древесной биомассы [Текст] / В.К. Любов, В.А. Дьячков // Повышение эффективности теплообменных процессов и систем: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – Вологда, 2000. – С. 225–227.
3. Любов, В.К. Анализ схем сжигания отходов переработки древесной биомассы [Текст] / В.К. Любов, В.А. Дьячков, Р.А. Ефимов // Тр. Третьей рос. нац. конф. по теплообмену. Т. 1. Пленарные и общие проблемные доклады. Доклады на круглых столах. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – С. 228–231.
4. Любов, В.К. Исследование теплотехнических характеристик древесных отходов и торфа [Текст] / В.К. Любов, В.А. Дьячков // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр./ СПб ГТУ РП. – СПб, 2001. – С. 240–248.
5. Любов, В.К. Повышение эффективности работы котлов, сжигающих древесные отходы [Текст] / В.К. Любов, В.А. Дьячков // Тр. Второй рос. нац. конф. по теплообмену. Т. 3. Свободная конвекция. Теплообмен при хим. превращениях. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – С. 229–232.
6. Любов, В.К. Программно-методический комплекс для обработки результатов испытаний теплоэнергетического оборудования и расчета вредных выбросов [Текст] / В.К. Любов, В.А. Дьячков // Тр. Второй рос. нац. конф. по теплообмену. Т. 3. Свободная конвекция. Теплообмен при хим. превращениях. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – С. 225–228.
7. Любов, В.К. Резервы энергосбережения в малой энергетике [Текст] / В.К. Любов, В.А. Дьячков // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр./ СПб ГТУ РП. – СПб, 2002. – С. 138–147.
8. Любов, В.К. Уменьшение выбросов вредных веществ путем повышения экологических показателей работы котлоагрегатов и увеличения доли биотоплива в топливном балансе региона [Текст] / В.К. Любов // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: матер. межд. конф. Т. 1. – Архангельск: Ин-т экол. проблем Севера УрО РАН, 2002. – С. 200–204.
9. Любов, В.К. Уменьшение загрязнения окружающей среды путем повышения эффективности работы котлоагрегатов и увеличения доли биотоплива в топливном балансе региона [Текст] / В.К. Любов, О.А. Любова // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 2. – С. 120–122.
10. Пат. 2220371 РФ. Топочное устройство для сжигания древесных отходов [Текст] / В.К. Любов. (РФ). – № 2002101162; заявл. 08.01.2002; Бюл. № 36.
11. Пат. 2309786 РФ. Пылеулавливающее устройство [Текст] / В.К. Любов. (РФ). – № 2005138190; заявл. 08.12.2005; Бюл. № 31.
12. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей [Текст]. – 15-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 288 с.

13. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов [Текст]. – М.: ПИО ОБТ, 1996. – 215 с.

14. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 217 с.

15. Справочник по пыле- и золоулавливанию [Текст] / Под общ. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 07.02.05

V.K. Lyubov

Increasing of Operating Efficiency of Boiler Plants

The main way of increasing the operation efficiency of boiler plants are investigated, the ways of increasing both economic and ecological parameters are offered.



МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 630*182 (470.333)

Ф.В. Кишенков, М.Н. Неруш, В.И. Рубцов, М.А. Сенищенков

Кишенков Федор Васильевич родился в 1935 г., окончил в 1959 г. Брянский лесохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоустройства Брянской государственной инженерно-технологической академии, декан лесохозяйственного факультета, заслуженный лесовод РФ. Имеет свыше 150 научных трудов в области лесной таксации, нормативной базы по учету лесов и лесопользованию, интенсификации рубок ухода и устойчивому лесопроизводству.



Рубцов Василий Ильич родился в 1935 г., окончил в 1960 г. Брянский лесохозяйственный институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры дендрологии, селекции и озеленения Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 100 научных работ по вопросам лесной геоботаники, биологии аборигенной и интродуцированной дендрофлоры.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОГО
МОДУЛЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА
«ЭКОЛОГИЯ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ».
РАЗДЕЛ «ЛЕСА БРЯНЩИНЫ»**

Рассмотрено экологическое, экономическое и рекреационное значение леса, его флористическое и геоботаническое разнообразие.

Ключевые слова: лесные экосистемы, растительная ассоциация, дендрофлора, флористическое и геоботаническое разнообразие.

Цель нашего исследования заключалась в разработке мультимедийных электронных учебных пособий (программно-методического модуля) по изучению курса «Экология Брянской области» для дистанционного образования студентов и школьников региона.

Методы исследования – систематизация библиографических, справочно-информационных и натурных материалов, программирование и мультимедийные компьютерные технологии, цветное цифровое фотографирование и видеосъемка, web-технологии.

В программно-методическом модуле дается понятие о лесе вообще и Брянском лесном массиве. В законодательных актах отмечается, что лес как объект права, животного и растительного мира и других компонентов окру-

жающей природной среды имеет важное экологическое, экономическое и социальное значение. Общая площадь лесов Брянской области составляет 1268 тыс. га. Эта самая крупная растительная группировка на юго-западе центральной части России связана с Белорусским Полесьем и вклинивается в среднерусские степи. Разнообразны природные условия региона, что наложило отпечаток на развитие растительности. На этой территории С.Ф. Курнаев в 1982 г. выделил и кратко охарактеризовал 11 лесорастительных округов. Особо отмечены леса, расположенные по левобережью р. Десны. Они непрерывной полосой простираются в пределах области. В истории науки о лесе эта растительная группировка получила название Брянского лесного массива (БЛМ). Его природное и хозяйственное значение высоко оценивали известные ученые М.В. Агафонов, Г.Ф. Морозов, В.Н. Сукачев, В.П. Разумов, С.А. Ковригин, А.С. Тихонов и др.

Большое внимание обращено на значение леса в экологии и экономике региона. Отмечено, что каждый человек за свою жизнь расходует до 100 м³ древесины, многообразно использование недревесных ресурсов леса. В настоящее время человечество потребляет свыше 25 тыс. товаров, изготавливаемых из сырья лесных кладовых. Глобальное значение леса заключено в словах К. Паустовского: «Леса не только приносят великую пользу человеку, украшают и оздоравливают землю, но поддерживают саму жизнь на земле». Писатель знал и любил Брянский лес, часто отдыхал в парке на берегу р. Ревна (приток Десны); в настоящее время парк носит его имя. На конкретных фактах раскрыта почвозащитная, водоохранная, водорегулирующая и рекреационная роль леса.

Особое место отводится Брянской области как центру лесоводственной науки, лесного образования и культуры. Отмечаются этапы: 1805 г. – открытие лесного института в г. Козельске на границе с БЛМ, 1906 г. – опытного лесничества вблизи г. Брянска, 1930 г. – лесного института в Брянске. Представлена плеяда выдающихся ученых разных поколений, их роль в развитии лесной науки и использовании ее на практике. Сегодня мы с гордостью вспоминаем имена всемирно известных отечественных ученых, профессоров М.М. Орлова, Г.Ф. Морозова, В.Н. Сукачева, А.В. Тюрина, А.А. Роде, Н.А. Флерова и многих других, положивших начало лесным научным школам на Брянщине.

Приведены сведения о научных школах. У истоков школы лесных почвоведов стояли акад. И.В. Тюрин, проф. А.А. Роде, Н.П. Ремезов, доц. С.А. Ковригин. Успешно развивали ее проф. В.П. Корнев, доц. Е.М. Остроумов, Г.М. Орловский. Научной общественности России известна школа брянских лесоводов, к числу которых принадлежат проф. В.П. Тимофеев, Б.Д. Жилкин, В.П. Разумов, Н.А. Обозов, И.С. Марченко; продолжает развивать ее проф. А.С. Тихонов. Школу лесных таксаторов открыл на Брянщине ученый с мировым именем, проф. А.В. Тюрин, продолжили крупные ученые проф. А.Б. Шустов, Н.Н. Чикилевский, П.В. Воропанов, В.В. Памфилов. К школе лесных энтомологов принадлежат ученые, проф. А.В. Яцентковский, П.Г. Трошанин, Н.З. Харитонов и др. Школу лесных бота-

ников и физиологов формировали заслуженные деятели науки РСФСР, проф. Б.В. Гроздов и Н.В. Лобанов. Основоположник научного лесоводства в России Г.Ф. Морозов явился одним из инициаторов открытия в Брянском лесном массиве первого опытного лесничества.

Результаты многолетних исследований отражены в десятках монографий, сборниках научных трудов, учебниках и учебных пособиях, ряде программно-методических разработок, сотнях наставлений, положений, тысячах научных статей.

Представлены структура и состояние лесов. Лесистость области равна 36,9 %. На душу населения приходится 0,7 га и 87,4 м³ древесины. Все лесные территории закреплены за 19 лесхозами, несколькими специализированными хозяйствами федерального подчинения и 24 лесхозами объединения «Брянскмежхозлес». Наименования лесхозов, их площади, число лесничеств, поселений в примыкающих лесных массивах показано в таблицах модуля. В одной из них дано распределение покрытых лесом площадей по преобладающим породам и возрастным группам. На долю хвойных (сосна, ель) приходится 51,5; твердолиственных – 6,2; мягколиственных – 42,3 % лесопокрытых земель. Средний возраст насаждений сосны – 56, ели – 38, дуба – 79, березы – 46, осины – 44, ольхи черной – 50 лет. Рассмотрены леса по их категориям, назначению. Для целевого ведения лесного хозяйства, повышения его экологической, экономической и социальной роли в жизни населения области все леса распределены на две группы. К первой отнесены леса, выполняющие водоохранные, защитные, санитарно-гигиенические и оздоровительные функции, а также леса особо охраняемых природных территорий (42,8 %); ко второй – имеющие те же функции, но ограниченное эксплуатационное значение (57,2 %). Допускается рубка спелого леса при строгом соблюдении лесоводственных требований на площади 377,7 тыс. га, или 51,5 % покрытых лесом земель.

В программно-методическом модуле особое внимание уделено флористическому и геоботаническому разнообразию лесов региона. Лес – важный тип растительности, в сообществах которого доминируют деревья, а под их пологом – кустарники, кустарнички, полукустарники, лианы, травянистые и другие растения (мхи, лишайники, плауны, папоротники); он включает также животных и микроорганизмы. Все эти компоненты взаимосвязаны, влияют на абиотическую среду. Лес постоянно взаимодействует с другими типами растительности: лугом, кустарниковыми зарослями, болотами. Это сложная экологическая система (экосистема), представляющая единство биологических компонентов с абиотической (неживой) средой, организованная потоками энергии и биологическим круговоротом веществ.

Флористическое разнообразие отражено в монографии П.З. Босека, «Растения Брянской области» [1], в которой представлены 1496 видов растений, обитающих в лесах, болотах, озерах и других участках, в том числе 200 древесных интродуцентов. Автор базировался на работах проф. Б.В. Гроздова и других ученых кафедры дендрологии, селекции и озеленения БГИТА за период с 1930 г. по 1975 г. Однако эти сведения не отражают все-

го разнообразия растительности области. По нашим данным, только аборигенная дендрофлора насчитывает 113 видов и 196 внутривидовых форм; интродуцированная – 513 видов и 199 форм, а в совокупности древесное разнообразие представлено 1021 таксоном. Учет проводили не только в лесных экосистемах, но и в 15 дендрариях при лесхозах, 35 старинных и новых парках. Аборигенное разнообразие растений изучали в различных лесных сообществах. Лес представлен классами растительных формаций (хвойная, лиственная), группами формаций (светло- и темнохвойные, широко- и мелколиственные), растительными формациями: сосновые, лиственничные и кедровые (в культуре), еловые, дубовые (чистые и с примесью клена, вяза, липы, ясеня), осиновые, березовые, ольховые.

В пределах растительных формаций выделены растительные сообщества (фитоценозы), а в их границах – более сложные образования (биогеоценозы). При характеристике растительных формаций приведены краткие сведения об эдификаторе (лесообразователе): сосне, лиственнице, кедре сибирском, ели, дубе, клене, вязе, липе, ясене, березе, ольхе, осине; указан процент занимаемой площади. Общий габитус доминирующего вида и образуемых им формаций показан на цветных фотографиях. Таким же образом в модуле представлены подлесочные и другие растения лесных формаций: рябина обыкновенная, лещина обыкновенная, черемуха птичья, калина обыкновенная, бересклет бородавчатый и европейский, свидина кроваво-красная и белая, крушина ольховидная, жестер слабительный; кустарнички-индикаторы типов леса: вереск, брусника, черника.

В модуле уделено внимание редким древесным и полукустарниковым видам, нуждающимся в охране. При этом руководствовались международными соглашениями и российскими документами, направленными на сохранение биологического разнообразия, улучшение экологической обстановки. Использованы публикации [1, 2], а за последнее десятилетие и собственные наблюдения. При отнесении видов к исключительно редким и редко встречающимся использовали общепринятую методику, но применительно к условиям возросших негативных антропогенных воздействий и радиоактивного загрязнения западных, юго-западных, северных и северо-восточных районов области. Виды (в основном травянистые), достаточно распространенные, но подвергающиеся массовому истреблению при заготовках лекарственного сырья и в местах высокой рекреационной нагрузки, включены в книгу [2], в третью группу из 54. К исключительно редким травянистым видам (первая группа) относятся 39, редко встречающимся (вторая группа) – 29, которые подлежат охране в наиболее характерных местонахождениях. Исключительно редкими и редкими древесными и полудревесными видами являются: вяз пробковый (дерево); кустарники не выше 1,5 м: береза приземистая (низкая) и карликовая, волчник боровой, вишня степная, жарновец метельчатый, ива лопарская, розмаринолистная, черничная, омела белая, острокильница чернеющая, ракитник чернеющий, роза войлочная, смородина пушистая; кустарнички: иссоп лекарственный, рамишия однобокая, толокнянка обыкновенная; полукустарники (полудревес-

ные): дрок германский, дубровник пурпуровый, линнея северная, подбел многолистный, солнцезвезд монетолистный, тимьян Маршалла. Уделено также внимание травянистым видам лесных формаций, в том числе занесенным в Красную книгу страны.

Разработанный программно-методический модуль по изучению курса «Экология Брянской области», где один из важнейших разделов – «Леса Брянщины» – изложен на 55 страницах, включая 116 цветных фотографий, 3 таблицы, 16 фотоальбомов, 10 карт, обширный словарь терминов и библиографию, список из 40 контрольных вопросов. Модуль является содержательным наглядным пособием при изучении отдельных разделов ботаники, дендрологии, экологии, лесоводства и лесоустройства студентами дневного и заочного обучения биологических специальностей вузов и техникумов, школьниками, слушателями школьных лесничеств Брянской и соседних областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Босек, П.З. Растения Брянской области [Текст]: справ. пособие / П.З. Босек, Всерос. о-во охраны природы. – Брянск: Приок. кн. изд-во, 1975. – 463 с.
2. Редкие и охраняемые животные и растения Брянской области [Текст]: вариант Красн. кн./ Ин-т экологии Междунар. инж. акад., Брян. технол. ин-т; сост. М.Т. Лавров, В.Н. Никончук; под ред. Е.С. Мурахтанова. – Брянск, 1993. – 240 с.

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия

Поступила 22.09.05

F.V. Kishenkov, M.N. Nerush, V.I. Rubtsov, M.A. Senyushchenkov
**Development of Program-methodical Module for Studying Course
«Ecology of Bryansk Region». Section «Bryansk Forests»**

Environmental, economic and recreational value of a forest, its floristic and geobotanic diversity are considered.



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

ЮБИЛЕЙ НИКОЛАЯ АЛЕКСЕЕВИЧА БАБИЧА

27 ноября 2007 г. исполнилось 60 лет со дня рождения Николая Алексеевича Бабича – доктора сельскохозяйственных наук, профессора Архангельского государственного технического университета, заслуженного работника высшей школы РФ, член-корреспондента РАЕН, лесоведа-лесокультурника, имя которого известно широкому кругу общественности, ученых и практиков лесного хозяйства в России.

Н.А. Бабич родился в семье учителей, дед работал в лесничестве. Николай Алексеевич говорит, что со школьных лет мечтал иметь классные гоночные лыжи, шрам на лице и охотничье ружье штучного изготовления; первые две его мечты сбылись.

В 1971 г. Николай Алексеевич окончил лесохозяйственный факультет Архангельского лесотехнического института, затем работал младшим научным сотрудником в Архангельском институте леса и лесохимии, где под руководством известного ученого Ф.Т. Пигарева прошел хорошую школу методологии исследований. Этот опыт пригодился в дальнейшем при организации научных исследований студентов и выполнении хозяйственных тем.

В 1975 г. Николай Алексеевич поступил в аспирантуру Ленинградской лесотехнической академии, где его научным руководителем был профессор Г.И. Редько. Плодотворная работа завершилась успешной защитой кандидатской диссертации на тему «Итоги 175-летнего опыта выращивания культур сосны в Лисинском учебно-опытном лесхозе Ленинградской области» (1978 г.). Николай Алексеевич с особой теплотой вспоминает годы учебы в аспирантуре, с большим уважением относится к своему учителю, ученому с мировым именем, в некоторых ситуациях старается ему подражать. Общение с Г.И. Редько, его учениками и последователями определило дальнейшую судьбу Николая Алексеевича.

После окончания целевой аспирантуры в декабре 1978 г. Н.А. Бабич приступил к работе в АЛТИ в должности старшего преподавателя кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ. Здесь он собрал богатый и ценный материал по проблемам лесовосстановления в таежной

зоне, составивший основу докторской диссертации «Лесовосстановление на Европейском Севере», успешно защищенной в 1993 г.

Удивительная работоспособность и эрудиция Николая Алексеевича способствовали плодотворному развитию научной и педагогической деятельности. Более 30 лет он посвятил исследованию природы таежных лесов, имеет более 150 опубликованных научных работ, в том числе 30 книг. Его труд отмечен почетной серебряной медалью им. В.И. Вернадского (РАЕН). Трилогия «Рукотворные леса Европейского Севера» (1991), «Корабельный лес во славу флота Российского» (1993) и «Лесовосстановление на Европейском Севере» (1994) удостоена премии и медали Ломоносовского фонда (1995). Сейчас Николай Алексеевич готовит второе издание книги «Тайга», в которой стремится отразить все многообразие уникальной северной природы, нащупать философскую нить понимания этого сложнейшего, многогранного явления.

Профессор Н.А. Бабич – активный участник научных конференций, совещаний. Его приглашают для чтения лекций в институты лесного профиля.

С деятельностью Н.А. Бабица в должности заведующего кафедрой лесных культур АГТУ (1998–2003 гг.) связан новый этап ее развития. По разделу учебно-методической работы кафедра в университетском рейтинге в 2000 и 2001 гг. занимала первое место среди 53 подразделений, а по итогам трех лет (2000–2002 гг.) отмечена денежной премией.

Много сил и внимания Николай Алексеевич уделяет подготовке молодых ученых. Аспиранты развивают направления исследований, обозначенные в его докторской диссертации. Под его руководством уже защищено 12 кандидатских диссертаций. И это далеко не предел!

Николай Алексеевич Бабич уникальный человек. Его лучшие человеческие качества тесно переплетаются с талантом ученого, исследователя, педагога. Он прост и демократичен в общении с коллегами, среди которых пользуется огромным авторитетом. Восхищает многогранность его интересов. Свободное от работы время Николай Алексеевич проводит на даче. В перерывах творческой деятельности зимой бежит на лыжах, летом гуляет по лесу, собирает грибы, увлекается фотографированием объектов природы.

С юбилеем Вас, дорогой Николай Алексеевич! Новых успехов в служении лесу, лесной науке, Отечеству!

Коллеги, ученики

Colleagues, followers

Jubilee of Nikolay A. Babich
